

O. PROF. DR.-ING. DR.-ING. E.H. KARL KORDINA
INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG

RECHNERISCHE UNTERSUCHUNGEN
ZUM LASTABTRAG MASSIVER
UNAUSGESTEIFTER KASTENTRÄGER

ABSCHLUSSBERICHT

ZUM FORSCHUNGSVORHABEN

VORGELEGT VON:

PROF. DR.-ING. DR.-ING. E.H. KARL KORDINA
DIPL.-ING. EBERHARD GROSSERT

BRAUNSCHWEIG, JULI 1988

DAS FORSCHUNGSVORHABEN WURDE GEFÖRDERT VOM NIEDER-
SÄCHSISCHEN MINISTER FÜR WISSENSCHAFT UND KUNST
UNTER DER NUMMER 2091-BV4E-24/85

Inhaltsverzeichnis

| | <u>Seite</u> |
|--|--------------|
| 1. EINLEITUNG. | 1 |
| 2. DAS TRAGVERHALTEN VON UNAUSGESTEIFTEN KASTENTRÄGERN . | 5 |
| 2.1 Allgemeines | 5 |
| 2.2 Der einzellige Kastenträger | 8 |
| 2.2.1 Symmetrische Belastung | 8 |
| 2.2.2 Unsymmetrische Belastung | 9 |
| 2.3 Der mehrzellige Kastenträger. | 15 |
| 2.3.1 Symmetrische Belastung. | 15 |
| 2.3.2 Unsymmetrische Belastung. | 17 |
| 3. VORHANDENE BERECHNUNGSMETHODEN. | 19 |
| 3.1 Allgemeines | 19 |
| 3.1.1 Literatúrauswertung | 21 |
| 3.1.2 Grundlagen der ausgewählten Berechnungsverfahren | 27 |
| 3.2 Berechnungsverfahren von Steinle. | 29 |
| 3.3 Berechnungsverfahren von Kupfer | 30 |
| 3.4 Berechnungsverfahren von Knittel. | 30 |
| 3.5 Berechnungsverfahren von Hofbauer | 31 |
| 3.6 Berechnungsverfahren von Schlaich/Scheeff | 32 |
| 3.7 Berechnungsverfahren von Glahn. | 34 |
| 3.8 Berechnungsverfahren von Lindlar. | 34 |
| 3.9 Zusammenfassung | 35 |
| 4. THEORETISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUM TRAGVERHALTEN VON ZWEIZELLIGEN KASTENTRÄGERN IM ELASTISCHEN ZUSTAND MIT DER FINITE-ELEMENTE-METHODE | 36 |
| 4.1 Allgemeines | 36 |
| 4.2 Das Programm SAP V. | 37 |
| 4.2.1 Kontrolle der Ergebnisse. | 40 |
| 4.3 SAP-Elemente. | 41 |
| 4.3.1 Dünnes Platten- und Scheibenelement | 42 |
| 4.3.2 Randelement | 44 |
| 4.4 Durchgeführte eigene Untersuchungen | 44 |
| 4.4.1 Untersuchte Systeme und Lastfälle | 44 |
| 4.4.2 Konvergenzuntersuchungen. | 45 |
| 4.4.3 Räumliche Diskretisierung des Kastenträgers . . | 51 |

| | <u>Seite</u> |
|--|--------------|
| 4.4.4 Diskretisierung der Lastfälle | 61 |
| 4.5 Parameterstudie der Querschnittsformen und Lastfälle | 68 |
| 5. AUSWERTUNG. | 74 |
| 5.1 Allgemeines | 74 |
| 5.2 Verformungen und zugehörige Querverteilung. . . | 77 |
| 5.3 Auflagerkräfte und zugehörige Querverteilung je Lagerachse. | 95 |
| 5.4 Ausgewählte Ergebnisse. | 109 |
| 5.5 Ergebnisse der Sonderuntersuchungen | 115 |
| 5.6 Verformungen. | 122 |
| 6. BEMESSUNGSNOMOGRAMME FÜR DIE UNTERSUCHTEN KASTENGEOMETRIEN IN ABHÄNGIGKEIT VON DER BELASTUNG. . | 125 |
| 6.1 Allgemeines | 125 |
| 6.2 Nomogramme für die einzelnen Lastfälle. | 126 |
| 6.3 Beispiele | 131 |
| 6.3.1 Verdeutlichung des Rechenablaufs. | 131 |
| 6.3.2 Kasten geometrien. | 131 |
| 6.3.3 Ermittlung der Lastverteilungsfaktoren aus den Nomogrammen für die 1. Kasten geometrie. | 132 |
| 6.3.4 Ermittlung der Randspannungen | 133 |
| 6.3.5 Vergleich mit anderen Lösungen. | 136 |
| 6.4 Querverteilung im Bereich von Koppelfugen . . . | 137 |
| 7. SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DEN ERHALTENEN ERGEBNISSEN . . | 140 |
| 8. ZUSAMMENFASSUNG | 144 |
| 9. LITERATURVERZEICHNIS. | 145 |
| A. ANHANG. | A 1 |

BEZEICHNUNG HÄUFIG VORKOMMENDER GRÖSSEN

Geometrische Größen

| | |
|-----------|---------------------------------|
| x, y, z | globale bzw. lokale Koordinaten |
| L | Stützweite |
| d | Kastenhöhe (total) |
| h | Kastenhöhe (Systemmaß) |
| b | Kastenbreite (Systemmaß) |
| b_K | Kragarmbreite (Systemmaß) |
| t_s | Stegdicke |
| t_o | Dicke der Fahrbahnplatte |
| t_u | Dicke der Bodenplatte |

Materialgrößen

| | |
|-------|-------------------|
| E | Elastizitätsmodul |
| μ | Querdehnungszahl |
| G | Gleitmodul |

Querschnitte und Steifigkeiten

| | |
|---------|--|
| A_b | Querschnittsfläche für Beton |
| y_o | Abstand von OK-Deckplatte und elastischem Schwerpunkt |
| y_u | Abstand von UK-Bodenplatte und elastischem Schwerpunkt |
| I_b | Biegeträgheitsmoment |
| I_t | Torsionsträgheitsmoment |
| $E I_b$ | Biegesteifigkeit |
| $G I_t$ | Torsionssteifigkeit |
| K | Steifigkeitszahl |

Verformungsgrößen

| | |
|------------|---|
| u | Verschiebungskomponente in Richtung der x-Achse |
| v | Verschiebungskomponente in Richtung der y-Achse |
| w | Verschiebungskomponente in Richtung der z-Achse |
| δx | Verdrehungskomponente um die x-Achse |
| δy | Verdrehungskomponente um die y-Achse |
| δz | Verdrehungskomponente um die z-Achse |

Schnittgrößen

| | |
|--------------------|--|
| n_x, n_{xy}, n_y | Scheibenkräfte |
| m_x, m_{xy}, m_y | Plattenschnittgrößen |
| q_x, q_y | |
| F_x, F_y, F_z | Knotenkräfte in Koordinatenrichtungen x, y, z |
| M_x, M_y, M_z | Knotenmomente in lokalen Koordinatenrichtungen x, y, z |

Allgemeine Abkürzungen

| | |
|------------|--|
| EL | Elementanzahl |
| KN | Knotenanzahl |
| n | Anzahl der Unbekannten des Gleichungssystems |
| F | Feld |
| S | Stütze |
| R | Auflagerkraft |
| ΣR | Summe aller Auflagerkräfte von R1 - R6 |
| FEM | Finite-Elemente-Methode |
| FE | Finite-Elemente |
| SLW | Schwerlastwagen |
| α | Lastverteilungsfaktor |

1. EINLEITUNG

Ein weitverbreitetes Konstruktionselement im Massivbau ist der Kastenträger aus Stahl- bzw. Spannbeton. Im Hoch- und Industriebau wird der Kastenquerschnitt als horizontaler Träger bei großen Spannweiten und großen Lasten sowie als vertikales Tragglied zur Erlangung der räumlichen Steifigkeit von Stahlbetonskelettbauten verwendet. Im Massivbrückenbau ist der ein- oder mehrzellige Hohlkastenträger der heutzutage am weitesten verbreitete Überbau. Seinen wirtschaftlichen Erfolg und seine herausragende Stellung im Brückenbau verdankt der Hohlkastenquerschnitt seiner Eignung für wirtschaftliche Bauverfahren und seiner hohen Biege- und Torsionssteifigkeit bei geringem Materialaufwand.

Kennzeichnend für viele dieser Träger ist die querträgerlose Ausführung im Feldbereich mit lediglich Aussteifungsträgern über den Auflagern. Diese Form wird aus herstellungstechnischen Gründen bevorzugt, da die Querschotte den kontinuierlichen Bauablauf erheblich behindern. Der statische Vorteil der geschlossenen Querschnittsform des Kastens gegenüber dem offenen Profil ist bei der Verwendung von wirtschaftlichen Bauverfahren, zum Beispiel dem Taktschiebeverfahren oder der Anwendung von Vorschubrüstungen, im neutralen Tragverhalten dieser Querschnittsform gegenüber wechselseitiger Beanspruchung aus positiven und negativen Biegemomenten begründet. Außerdem sorgt der torsionssteife Kasten als Haupttragglied für eine gute Querverteilung exzentrisch angreifender Lasten.

Die Meßergebnisse bei Probelastungen von Brückenbauwerken unter Einzelfahrten, bei denen die Fahrzeuge nacheinander in unterschiedlichen Fahrspuren über die Brücke fahren, zeigten jedoch deutlich, daß die Belastung nicht entsprechend den in der statischen Berechnung zugrunde gelegten Anteilen auf die Stege von ein- oder mehrzelligen Hohlkästen verteilt wurde. Der Steg, der der Last am nächsten lag, erhielt wesentlich größere Lastanteile als die übrigen Stege. Eine solche Lastverteilung, in der Literatur auch als Querverteilung bezeichnet, ermittelt aus in Situ durchgeführten Messungen, ist in Bild 1.1 exemplarisch für einen zweizelligen Hohl-

kasten unter symmetrischer Belastung dem bisherigen Lastansatz gegenübergestellt.

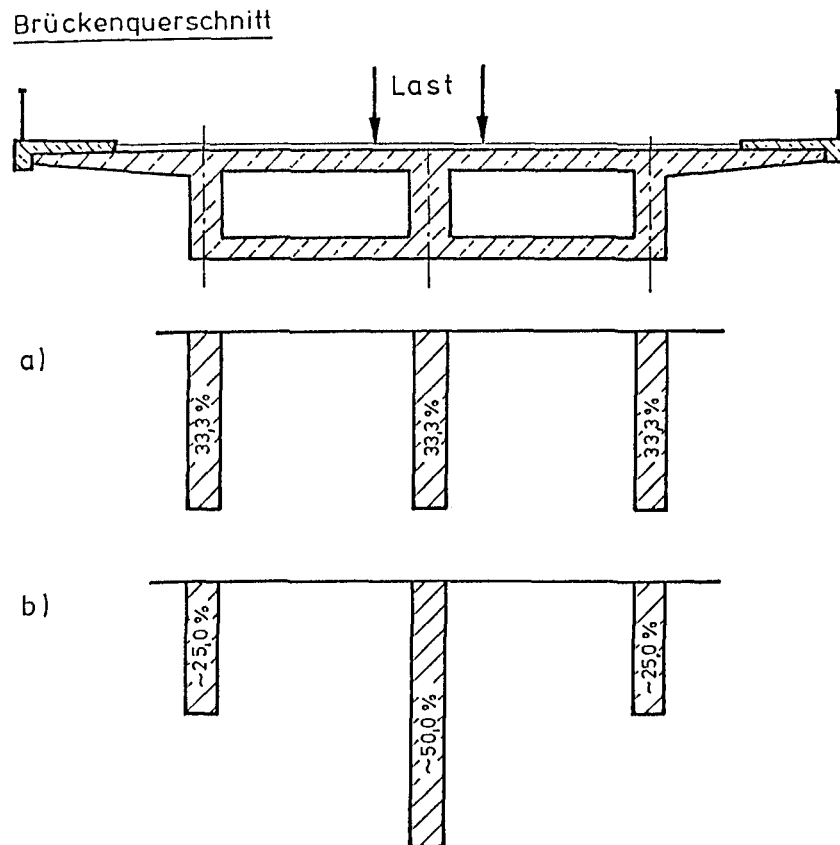


Bild 1.1 Lastanteile der Stege eines zweizelligen Hohlkastens unter symmetrischer Belastung
a) nach bisher üblichem Ansatz
b) aus Verformungsmessungen ermittelt

Das bedeutet, daß die Lastverteilung im Querschnitt nicht der eines torsionssteifen Kastens entspricht, bei dem die Last von allen Stegen gleich übernommen wird, sondern sich die nicht direkt belasteten Querschnittsteile sehr viel weniger am Lastabtrag beteiligen, als das nach den derzeit üblichen theoretischen Ansätzen erwartet werden konnte.

Der immer noch übliche Ansatz, symmetrische Lasten zu gleichen Teilen auf einzelne Stege zu verteilen, ist nicht wirklichkeitsnah. Wegen dieser Fehleinschätzung des Tragver-

haltens von Hohlkastenquerschnitten kommt es zu einer Überbelastung einzelner Bauteile, die zur Rißbildung führen kann.

Im Rahmen dieses Berichts soll deshalb zunächst das Tragverhalten von Kastenträgern und die bisher verwendeten bekannten Berechnungsverfahren erläutert werden. Die Mehrzahl dieser Verfahren hat allerdings keinen Eingang in die Praxis gefunden, da diese zum Teil sehr aufwendig in der Handhabung und/oder zu wenig anschaulich sind. Wegen seiner hohen Belastung und seiner herausgehobenen Stellung im Massivbau, wird im zweiten Teil dieses Berichts mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode das Tragverhalten von mehrzelligen unausgesteiften Brückenüberbauten untersucht. Diese theoretischen Untersuchungen erfolgten an einem zweizelligen Hohlkastenquerschnitt, wobei in Form einer Parameterstudie im wesentlichen die Kastengeometrie für das Innenfeld einer mehrfeldrigen Brücke mit Feldweiten zwischen 30 und 60 Metern variiert wurde.

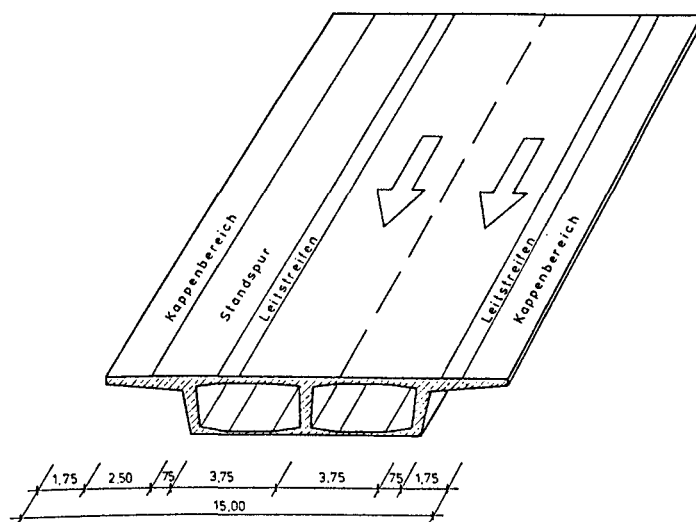


Bild 1.2 Aufteilung der Fahrbahnplatte für einen Autobahnquerschnitt beim zweizelligen Hohlkasten

Der gewählte Querschnitt ist der am weitesten verbreitete Brückenüberbau im Autobahnbau im Anwendungsbereich der o. g. Grenzwerte. Der Regelquerschnitt für Autobahnen - eine vierspurige Fahrbahn mit zwei Standstreifen - läßt sich auf zwei

dieser Überbauten (Bild 1.2) wirtschaftlich und gestalterisch akzeptabel unterbringen.

Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wurden Berechnungshilfen entwickelt, mit deren Hilfe das Quertragverhalten von Kasten-trägern in der Baupraxis wirklichkeitsnah und schnell ermittelt werden kann.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig durchgeführt und vom Niedersächsischen Minister für Wissenschaft und Kunst aus Mitteln des Niedersächsischen Zahlenlottos unter der Nummer 2091 - B V 4 e - 24/85 gefördert.

2. DAS TRAGVERHALTEN VON UNAUSGESTEIFTEN KASTENTRÄGERN

2.1 Allgemeines

Der Überbau einer Hohlkastenbrücke besteht aus der Fahrbahnplatte, die in Form des Straßenquerschnitts profiliert ist. Diese hat die Verkehrslasten aufzunehmen und an das Haupttragwerk weiterzuleiten, das sich aus der Fahrbahnplatte selbst, den Stegen, der Bodenplatte und gegebenenfalls aus Feld- und Auflagerquerträgern zusammensetzt. Durch die Verbindung dieser einzelnen Konstruktionselemente eines Brückenüberbaus entsteht so ein Tragwerk mit prismatischer Struktur. Durch die Beanspruchbarkeit der einzelnen Flächenelemente als Scheibe und Platte ist die Lastabtragung immer räumlich. Diese Kastenträger aus Stahl- und Spannbeton sind eine Sonderform des Falterwerks. Mögliche Kombinationen von vorgespannten und schlaff bewehrten Konstruktionselementen zeigt Bild 2.1.

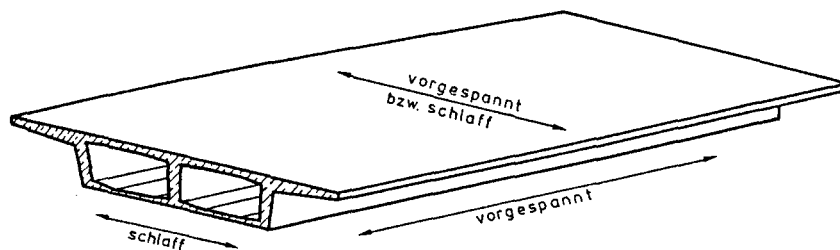


Bild 2.1 Übliche Kombinationen von Spannbeton - und Stahlbetonelementen bei Hohlkästen

Die Vorspannung der Fahrbahnplatte in Brückenquerrichtung hängt im wesentlichen von dem Abstand der Stege ab. Die Grenze für eine schlaff bewehrte Platte liegt bei 3,50 - 4,50 m. Bei größeren Abständen muß die Fahrbahnplatte zur Aufnahme der hohen Einzellasten aus dem Lastfall Verkehr quer vorgespannt werden, wenn die Plattendicke nicht zu groß, der Bewehrungsanteil nicht zu hoch und die zulässigen Zugspannungen nicht überschritten werden sollen. Die Stege der Kasten-

trägerbrücken werden heute in der Regel vorgespannt, um möglichst schlanke Bauwerke zu erhalten. Bei Spannweiten bis ca. 60 m werden die Spannglieder nur in den Stegen verlegt. Der Spanngliedverlauf wird dabei möglichst affin zum Momentenverlauf gewählt. Bei größeren Spannweiten können häufig nicht alle Spannglieder in den Stegen untergebracht werden, ohne dabei an innerem Hebelarm zu verlieren. Dann werden zusätzliche Spannglieder mit geradlinigem Verlauf in die Fahrbahn- und Bodenplatte eingelegt.

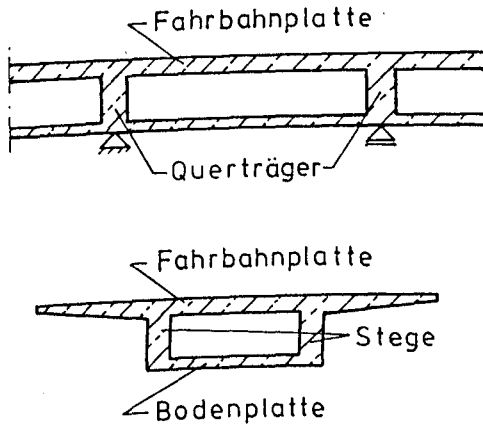
Die Bodenplatte erhält an vertikalen Lasten im wesentlichen nur ihren Eigengewichtsanteil und geringe Zusatzlasten aus eventuell vorhandenen Installationsführungen. Wenn die Bodenplatte keine großen Torsionsschübe aus Torsionsbeanspruchung des Querschnitts erhält, wird auf eine Quervorspannung verzichtet und nur schlaaffe Bewehrung eingebaut.

Für die Bemessung der vorgespannten Bauteile ist die DIN 4227 maßgebend, während die schlaaffe Bewehrung nach DIN 1045 bemessen wird. Beiden Normen liegen die gleichen Arbeitslinien der übergreifenden Baustoffe zugrunde, aber es werden unterschiedliche Bemessungskonzepte verwandt. Aus diesem Grunde sind an den Übergangsstellen, z. B. Steg - Bodenplatte, zusätzliche Querbiegezugspannungen, in den Querschnitten die nach DIN 1045 bemessen wurden, nachzuweisen.

Für die im Bauwesen üblichen Abmessungen können die Wand- und plattendicken dieser Flächenelemente im Vergleich zu den anderen Tragwerksabmessungen als relativ dünnwandig angesehen werden. Die einzelnen Konstruktionselemente eines Kastenträgers dürfen somit als zweidimensionales Kontinuum in der räumlichen Struktur der Kastenträger reduziert werden.

Unter bestimmten geometrischen Randbedingungen ($L \gg d$; $L \gg b$) ist es deshalb möglich, wie in Bild 2.2 dargestellt, das Längs- und Quertragwerk eines Kastenträgers nach den Verfahren der Stabstatik als Durchlaufträger bzw. Rahmentragwerk getrennt zu berechnen.

Konstruktionselemente:



Statische Systeme:

Durchlaufträger + Rahmen

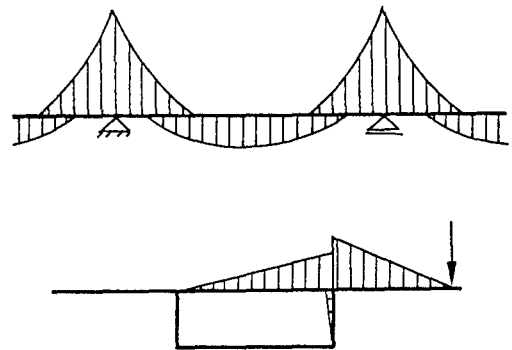
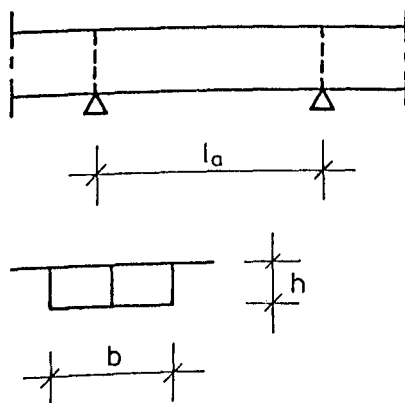


Bild 2.2 Konstruktionselemente und statische Systeme für die vereinfachte Berechnung von Kastenträgern



$$l_a / h \geq 18 \quad l_a / b \geq 4$$

b mittlere Kastenbreite

h mittlere Kastenhöhe

l_a Abstand der Schotte

bzw. Querträger

Bild 2.3 Geometriegrenzwerte für Kastenträger nach DIN 1075

Voraussetzung für diese einfache Berechnungsart ist, daß der Kastenträgerquerschnitt formtreu bleibt, d. h., auch bei Torsionsbeanspruchung des Tragwerks bleibt die Ausgangsgeometrie der Knotenpunkte des Kastenquerschnitts erhalten.

Die Norm DIN 1075 - Betonbrücken; Bemessung und Ausführung - /103/ erlaubt diese näherungsweise Berechnung von ein- und mehrzelligen Kastenträgern, sofern die Kasten geometrie die in Bild 2.3 angegebenen Bedingungen nicht überschreitet. In diesen Fällen dürfen die Längsspannungen und die zugehörigen Schubspannungen der Kastenträger nach der Theorie des torsionssteifen Stabes ermittelt werden.

Die Lastabtragung in Trägerlängsrichtung zu den Unterstützungspunkten erfolgt dabei überwiegend durch Scheibenbeanspruchung der einzelnen Konstruktionselemente des Kastenträgers. Eine Plattenbeanspruchung erhalten die Konstruktionsteile vorrangig aus der Weiterleitung der symmetrischen oder unsymmetrischen angreifenden Lasten zu den Stegen.

Wenn infolge der geringen Biegesteifigkeit der Stege, Fahrbahn- und Bodenplatte bzw. des Fehlens lastverteilender und formerhaltender Querschotte der Kastenquerschnitt in seiner Form nicht mehr erhalten bleibt, entstehen zusätzliche Beanspruchungen des Querschnitts, bei denen Längs- und Querrichtung miteinander verknüpft sind. Diese zusätzliche Verformung des Querschnitts wird als Profilverformung bezeichnet.

In diesem Fall ist der Anteil der unterschiedlichen Längsspannungen in den Stegen zu verfolgen. Die Querbiegung, auch infolge Profilverformung, muß berechnet werden.

2.2 Der einzellige Kastenträger

2.2.1 Symmetrische Belastung

Die in Querrichtung symmetrischen Lasten resultieren zum großen Teil aus dem Eigengewicht der Konstruktion und den in Querrichtung symmetrisch über die Fahrbahnfläche verteilten Verkehrslasten. Für diese Belastung kann der einzellige Kastenträger in Längsrichtung als Balken unter Annahme eines starren Querschnitts berechnet werden. Hierbei werden alle Lasten in Querrichtung aufintegriert und zu Einzel- und Linienlasten zusammengefaßt. Mit diesen resultierenden Lasten

werden dann am Längstragwerk - Durchlaufträger, Rahmen, Bogen, o. ä. - die Biegemomente, Querkräfte, Normalkräfte und Torsionschübe mit einem Verfahren der Stabstatik unabhängig von der Querrichtung des Kastenträgers berechnet. Die daraus resultierenden Beanspruchungen der Konstruktionselemente des Kastenträgers sind Scheibenbeanspruchung in Tragwerkslängsrichtung. Um die zu diesem Tragverhalten zugehörigen Plattenschnittkräfte des Gesamtquerschnitts zu erhalten, kann die Querrichtung unabhängig von der Längsrichtung als Rahmen berechnet werden.

2.2.2 Unsymmetrische Belastung

Während die Berechnung des im Feld querträgerlosen einzelligen Kastens unter symmetrischer Belastung keine besonderen Schwierigkeiten bereitet, entstehen bei der Ermittlung der Beanspruchungen aus unsymmetrischen Lasten Probleme, da hierbei die Beanspruchungen in Längs- und Querrichtung miteinander gekoppelt sind. Die unsymmetrischen Belastungen eines Kastenträgers resultieren im wesentlichen aus entsprechend den Normen anzusetzenden unsymmetrischen Verkehrslasten.

In Bild 2.4 ist der Einfluß der Querschnittsgestaltung auf die Verformung des Kastenträgers bei antisymmetrischer Belastung dargestellt. Es werden die drei Verformungsfälle unterschieden, die bei Kastenträgern unter antisymmetrischen Lasten auftreten können. Der querbiegestarke Kasten (Fall a)) kann als oberer Grenzfall der Querschnittsverformung angesehen werden.

Erreichen kann man dieses Tragverhalten durch Einbauen von Querschotten in engen Abständen oder durch große Querbiegesteifigkeit des Kastens selbst, die nur durch große Platten und Stegdicken mit biegesteifen Rahmenecken zu erreichen ist. Diese Querschnittsausbildung bringt ein unwirtschaftlich hohes Eigengewicht des Trägers und ist deshalb baupraktisch nicht von Interesse. Der Kasten wird bei einer solchen Ausbildung nur verdreht und nicht in sich selbst auch noch verformt.

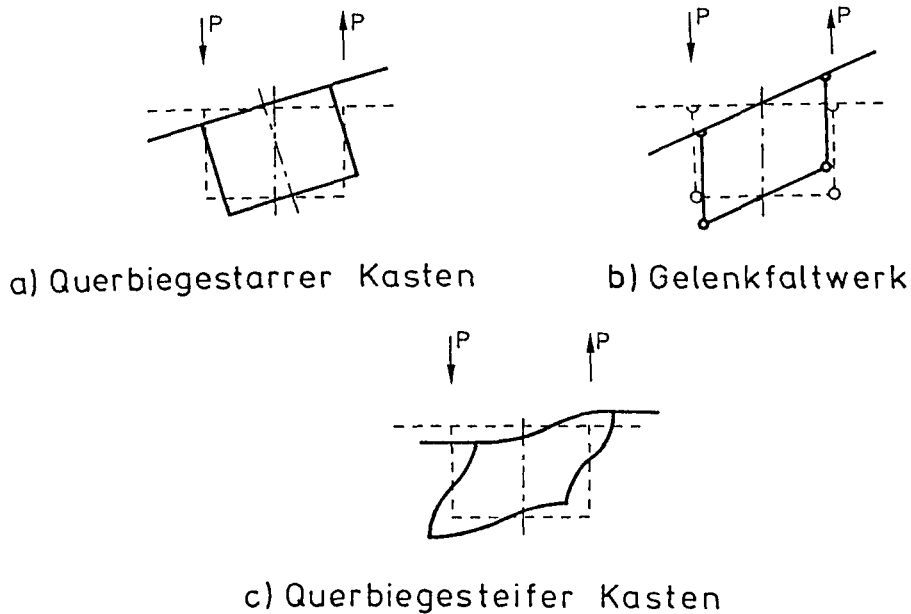


Bild 2.4 Verformungen von Kastenträgern für antimetrische Belastung in Abhängigkeit von der Querbiegesteifigkeit

Den Fall b) erhält man, wenn der Kastenträger in Querrichtung überhaupt nicht ausgesteift ist. Durch die quasi gelenkige Verbindung der einzelnen Konstruktionselemente können diese sich in Querrichtung nicht verbiegen, und man hat es jetzt mit dem Fall der reinen Längsbiegung zu tun. Die Lasten werden hierbei nach dem Hebelgesetz auf die einzelnen Stege aufgeteilt.

Das wirkliche Tragverhalten von Kastenträgern (Fall c) liegt im Massivbau aufgrund der gegebenen Randbedingungen jedoch zwischen diesen beiden Grenzfällen. Welchem der beiden Grenzfälle a) oder b) die Beanspruchung näherkommt, hängt von verschiedenen Einflüssen ab, die im wesentlichen die Verformungen - Durchbiegung und Verdrehung - des Querschnitts beeinflussen.

Die wichtigsten Einflußgrößen sind:

- Biegesteifigkeit der Fahrbahn- und Bodenplatte
- Torsionssteifigkeit des Kastenträgers
- Biegesteifigkeit der Hauptträger
- Schubfeste Verbindung der Fahrbahnplatte mit den Stegen
- Abstand des untersuchten Querschnitts vom Querschott

Die Beanspruchung des Quertragwerks sowie die daraus resultierenden Beanspruchungen des Kastenträgers sind in Bild 2.5 durch Aufspaltung der unsymmetrischen Trägerbelastung dargestellt. Die unsymmetrisch über dem Steg angreifende Linien- oder Einzellast wird dabei zunächst in einen symmetrischen und antimetrischen Lastanteil aufgespalten. Der symmetrische Lastanteil erzeugt einen Längsspannungszustand, der sich nach den bekannten Verfahren der Stabstatik - Balkenbiegetheorie - erfassen läßt. Lediglich bei sehr breiten Platten muß noch die Querverteilung der Längsspannung mit Hilfe der Scheibentheorie nachgewiesen werden. Dieses geschieht in der Praxis über die Ermittlung der sogenannten mitwirkenden Plattenbreite, deren Verlauf in Tragwerkslängsrichtung und die anzunehmende Breite für Brücken, in Abhängigkeit von der Geometrie des Tragwerks, in der DIN 1075 - Betonbrücken; Bemessung und Ausführung - zusammengefaßt ist.

Der antimetrische Lastanteil erzeugt ein Torsionsmoment, dessen Auswirkung beim Hohlkastenquerschnitt mit der Torsionstheorie bestimmt wird. Diese führt auf die Bredt'sche Formel und gegebenenfalls zu berücksichtigenden Zusatzspannungen aus behinderter Querschnittsverwölbung. Die Torsionstheorie setzt jedoch u. a. voraus, daß das äußere Torsionsmoment in Form eines umlaufenden Kräfteflusses konstanter Intensität einge-
leitet wird.

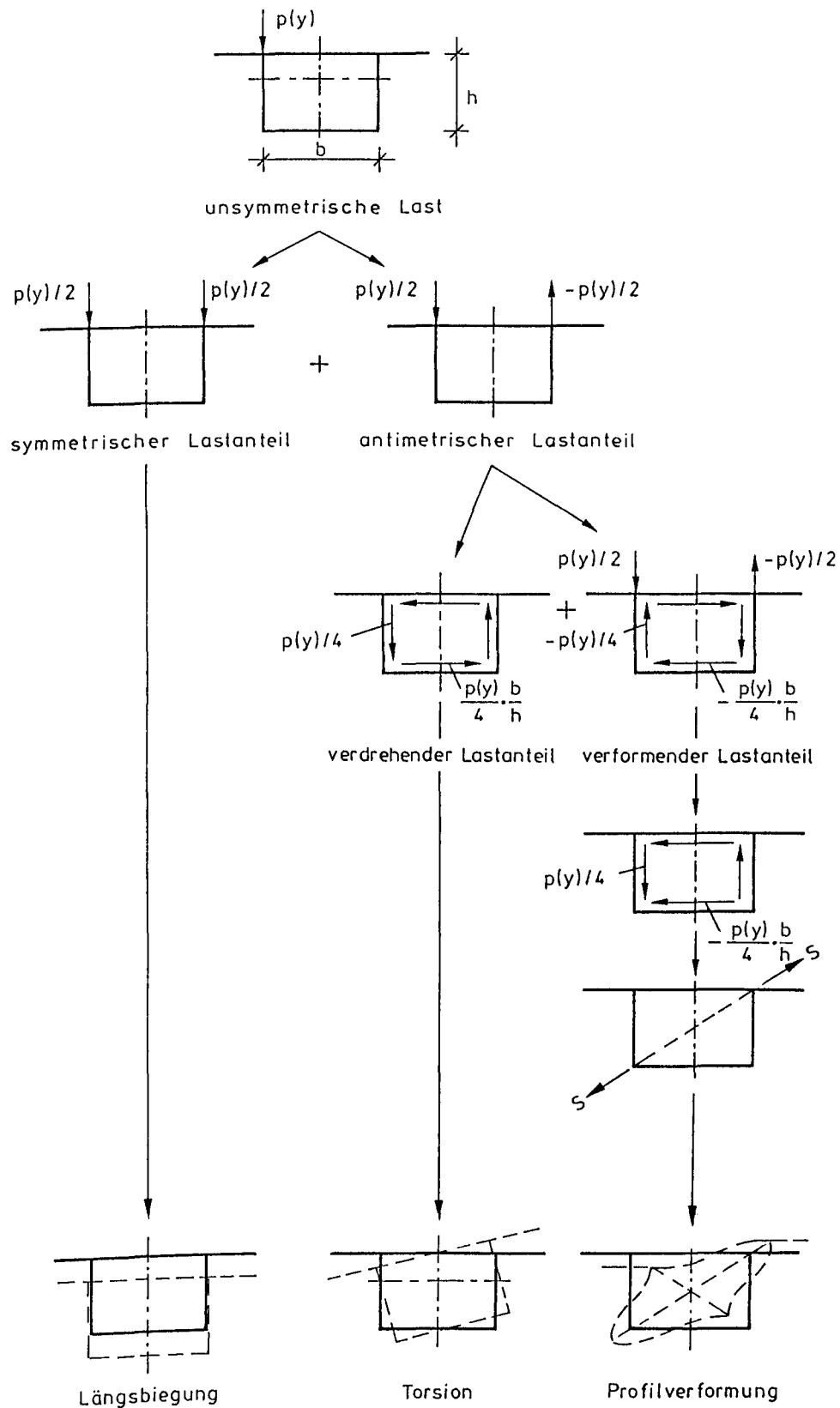


Bild 2.5 Zerlegung einer unsymmetrischen Belastung in einzeln berechenbare Teilbeanspruchungen des Querschnitts

Bild 2.6 zeigt die hieraus resultierenden Schubflüsse bei geschlossenen ein- und zweizelligen Kastenquerschnitten. Bei mehrzelligen Querschnitten heben sich die Torsionsschübe an den inneren Stegen auf.

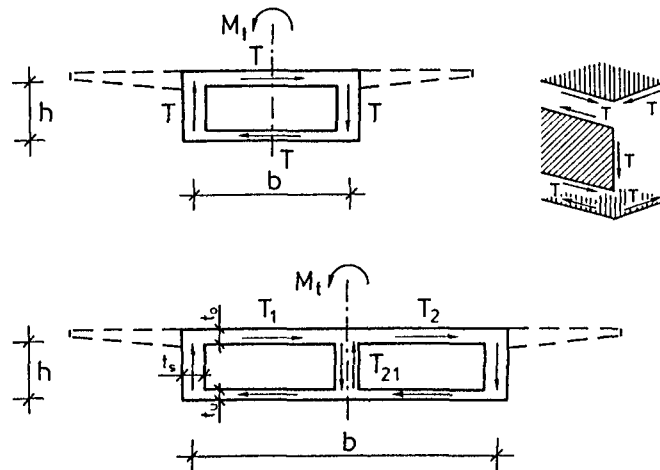


Bild 2.6 Schubfluß bei geschlossenen Querschnitten

Bei reiner Torsion (St. Venant'sche Torsion) bleibt bei einer konstanten Krafteinleitung über den Kastenumfang die Querschnittsform erhalten; bei Wölbkrafttorsion muß dieses zusätzlich gefordert werden. Ausführungstechnisch wäre dieses durch Anordnung eines Querschotts an der Lasteinleitungsstelle möglich. Diese Forderung ist jedoch in der Praxis für die unsymmetrisch angreifenden und in Längsrichtung wandernden Verkehrslasten nur durch Anordnung von Querschotten in sehr engem Abstand möglich. Dieses führt jedoch zu unwirtschaftlichen Konstruktionen, da der Einbau von Querschotten, auch als Fertigteil, den Herstellungsrhythmus des Bauwerks erheblich behindert.

Der antimetrische Lastanteil ist deshalb nochmal in einen profilverdrehenden Lastanteil und einen profilverformenden Lastanteil aufzuspalten. Der erste Lastanteil besteht dabei aus Gleichgewichtsgründen aus einem umlaufenden Kräftefluß, womit mit diesem Anteil wieder die Torsionstheorie zur Anwendung kommen kann. Der verbleibende zweite Anteil stellt eine Gleichgewichtskräftegruppe dar, die somit keine Schnittkraftresultierenden in Längsrichtung erzeugt. Diese Kräfte verformen den Kastenträger in Querrichtung längs der Diagona-

len. Die Querschnittsform bleibt also nicht erhalten, sondern die Knotenpunkte verschieben sich relativ zueinander. Diese Verwindung des Querschnitts wird in der Literatur als Profilverformung bezeichnet. Die Summe der Verformungen eines unsymmetrisch belasteten einzelligen Kastenträgers aus Längsbiegung, Torsion und Profilverformung ist in Bild 2.7 dargestellt.

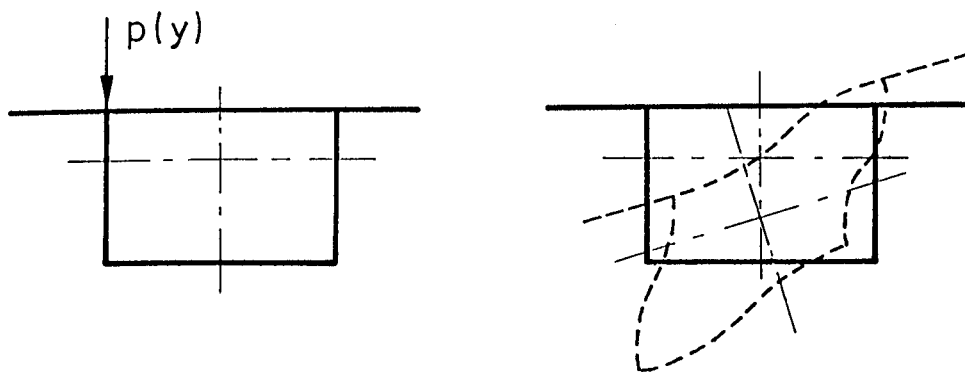


Bild 2.7 Superponierte Verformungen für unsymmetrische Belastung von Kastentragwerken

Durch die Verformung infolge Profilverformung entstehen als Zusatzbeanspruchung des Tragwerks Querbiegemomente, Schubkräfte und Biegespannungen in Längsrichtung. Diese Schnittgrößen aus Profilverformung werden häufig als Zwangsschnittgrößen angesehen, d. h., sie sind zum Gleichgewicht nicht erforderlich. Mit der Begründung, daß Zwangsschnittgrößen beim Übergang zur Grenzlast im Zustand II weitgehend verschwinden, wird auf ihren Nachweis verzichtet. Betrachtet man hierzu in Bild 2.5 den verformenden Lastanteil, ergibt sich, daß die Diagonalkraft S aus Gleichgewichtsgründen am geschlossenen Rahmen erforderlich ist. Diese Kraft erzeugt aber eine Profilverformung des Querschnitts, und die daraus resultierenden Zusatzbeanspruchungen des Querschnitts sind somit keine Zwangsschnittgrößen.

Würde man bei einem Kastenträger auf die Berücksichtigung der Profilverformung verzichten, wäre das Gleichgewicht nur gesichert, wenn man die gegebene Belastung nach dem Hebelgesetz

auf die Stege verteilt. Hierbei kann auf die Torsionssteifigkeit des Kastenträgers verzichtet werden. Das aber widerspricht der üblichen Berechnung und dem wirklichen Tragverhalten solcher Träger, bei denen die nicht direkt belasteten Stege sich am Lastabtrag beteiligen und die Lastweiterleitung sowohl über die umlaufenden Bredt'schen Torsionsschübe als auch die Querbiegemomente des Kastenträgers infolge Profilverformung erfolgt.

An den Auflagern wird diese Querschnittsverformung im allgemeinen durch die Querträger über dem Lager verhindert. Die einzelnen Konstruktionselemente des Querschnitts erfahren somit in Längsrichtung veränderliche Durchbiegungen und damit entsprechend veränderliche Längsbiegemomente. Der Gesamtkasten wirkt als Faltwerk, dessen Einzelelemente in Längsrichtung vorrangig als Balken und in Querrichtung vorrangig als Platten wirken.

Bis auf den profilverformenden Lastanteil (Diagonalbelastung S) können alle Lastanteile mit Hilfe der Balkenbiegetheorie bzw. einfacher Rahmenberechnung behandelt werden. Der profilverformende Lastanteil muß nach der Faltwerktheorie behandelt werden. Hierfür vorhandene Berechnungsverfahren werden in Kapitel 3 dieses Berichts aufgezeigt.

2.3 Der mehrzellige Kastenträger

2.3.1 Symmetrische Belastung

Grundsätzlich gilt für den einzelligen Kastenträger das gleiche wie für einzellige; es wird in den meisten bisherigen Veröffentlichungen zum Tragverhalten von symmetrischen mehrzelligen Kastenträgern für symmetrisch zur Querrichtung verteilte Lasten und symmetrisch auf dem Querschnitt angeordnete Einzel- bzw. Linienlasten einen gleichmäßigen Lastabtrag über alle Stege des Querschnitts angenommen. Dieser allgemein übliche Ansatz unterstellt, daß der Kastenträger torsionssteif ist und der Querschnitt sich nicht verformt, d.h. die Ver-

Mittelstegs waren größer als die der Randstege. Dieses ist nur durch entsprechend große Verdrehungen der Fahrbahn- und Bodenplatte möglich. Bei dieser Brücke führte die Profilverformung zu Rissen in der Bodenplatte in Brückenlängsrichtung und zu Schubrissen im Mittelsteg aufgrund der Überbelastung aus ungleichmäßiger Querverteilung.

Dieses wurde noch begünstigt durch die "unausgewogene" Tragwerksausbildung in Brückenquerrichtung. Durch die sehr kurzen Kragarme entstehen bei einer solchen Querschnittsausbildung schon aufgrund der größeren Lastezugsflächen des Mittelstegs ungleichmäßige Belastungen für alle Stege.

In bestimmten Fällen ist es beim mehrzelligen Hohlkastenträger offensichtlich nicht ausreichend, für symmetrische Lasten das mechanische Tragverhalten wie beim einzelligen Hohlkastenträger mit Hilfe der elementaren Bernoulli'schen und Bredt'schen Biege- und Torsionstheorie zu beschreiben.

2.3.2 Unsymmetrische Belastung

Für einen einzelligen Kastenträger ist die Summe der Verformungen unter einer Einzellast auf dem Randsteg in Bild 2.9 dargestellt. Deutlich sind auch hier wie beim einzelligen Kasten die vertikalen Verschiebungen, die Verdrehung und Verformung des Querschnitts zu erkennen. Der Lastabtrag entspricht prinzipiell dem eines einzelligen Kastens.

Für die Ermittlung der Beanspruchung des mehrzelligen Kastenträgers ist wegen des komplexeren Tragverhaltens wirtschaftlich nur folgende näherungsweise Modellierung in Anlehnung an Tragmodell eines mehrstegigen Plattenbalkens möglich. Ausgehend vom statischen System eines Trägerrostes wird jeweils eine Zelle des Kastenquerschnitts als Längsträger betrachtet. Die Querträger werden von der oberen und unteren Kastenplatte gebildet. Deren Tragverhalten entspricht im Prinzip demjenigen eines Vierendeel-Trägers. Die Schwierigkeit besteht beim mehrzelligen Kastenträger in dem Ansatz der Querschnittswerte für die Längs- und Querträger.

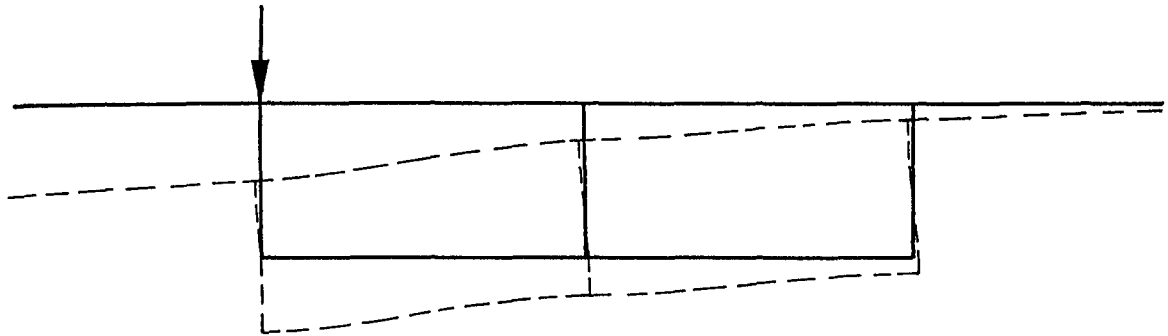


Bild 2.9 Verformung eines zweizelligen Kastenträgers mit einer Einzellast auf dem Randsteg

3. VORHANDENE BERECHNUNGSMETHODEN

3.1 Allgemeines

Bei wirklichkeitsnaher Berechnung von Hohlkastenträgern ist der Lastabtrag immer dreidimensional. Für die Ermittlung der dabei auftretenden Beanspruchungen stehen folgende Berechnungsverfahren zur Verfügung:

- Analogie zum elastisch gebetteten Balken
- Faltwerk (Platten- und Scheibentheorie) mit Reihenentwicklungen
- Finite-Streifen-Methode
- Finite-Elemente-Methode

Die meisten Lösungen in Veröffentlichungen basieren auf dem erstgenannten Verfahren. Die betrachtete Stegscheibe wird durch einen elastisch gebetteten Balken ersetzt. Die übrigen drei Berechnungsmöglichkeiten erfordern einen großen Aufwand an Theorie und teilweise einen sehr großen numerischen Aufwand von dem entwerfenden Ingenieur.

Die geschlossene Berechnung mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode für eine Hohlkastenbrücke mit einheitlichem Elementnetz, zu einer in sich geschlossenen Untersuchung in Brückenlängsrichtung und -querrichtung für eine Entwurfs- bzw. Ausführungsstatik - wie sie in Kapitel 4 dieses Berichts durchgeführt wurde -, ist für den in der Praxis tätigen Ingenieur nicht durchführbar. Der Aufwand für die Diskretisierung des Tragwerks, die große Anzahl der Eingabedaten, die Test- und Kontrollrechnungen zur Fehlerminimierung und die Auswertung der Ergebnisse kommt sehr schnell in unwirtschaftliche Dimensionen.

Die analogen Beziehungen zwischen einem elastisch gebetteten Balken und einem aus Profilverformung beanspruchten Hohlkastenträger, die dem ersten "handlichen" Verfahren zugrunde

| elastisch gebetteter Balken | Kastenträger unter profilverformender Belastung |
|-----------------------------|---|
| Biegesteifigkeit | Wölbesteifigkeit |
| Bettungsziffer | Rahmensteifigkeit |
| vertikale Belastung | profilverformende Belastung |
| Durchbiegung | Verformungswinkel des Querschnitts |
| Biegemoment | Zusatzbeanspruchung aus Profilverformung |
| Querkraft | — |

Tabelle 3.1 Analoge Beziehungen zwischen einem elastisch gebetteten Balken und einem durch Profilverformung beanspruchten Kastenträger

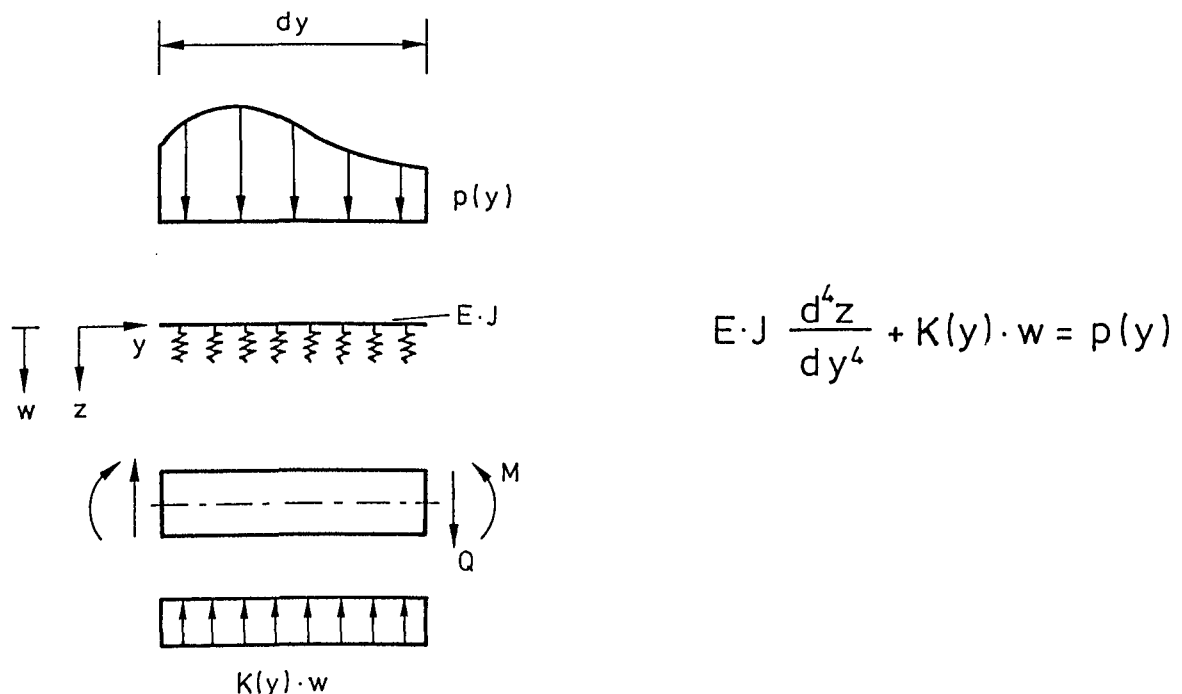


Bild 3.1 Differentialgleichung des elastisch gebetteten Balkens und Darstellung der einzelnen Terme am differentiellen Element

liegen, sind in der Tabelle 3.1 zusammengestellt. Diese Zusammenhänge sind Ausgang der meisten Lösungswege. Die Biegesteifigkeit des elastisch gebetteten Balkens ersetzt

hierbei die Wölbsteifigkeit des Kastenträgers und die Bettungsziffer die Querbiegesteifigkeit des Rahmens.

Die Verknüpfung von Längs- und Quertragwerk geschieht dabei über die Gleichsetzung der Durchbiegung des elastisch gebetteten Balkens zum Verformungswinkel des Querschnitts; alternativ wäre auch jede andere Verknüpfung, z. B. die Gleichsetzung der vertikalen Verformungen, möglich. Dieses ergibt die endgültige Differentialgleichung der Profilverformung.

Der erste Term der Differentialgleichung bedeutet dabei den Lastabtrag in Längsrichtung, der zweite Term die Rahmentragwirkung - Lastabtrag in Querrichtung -, und die Belastung ergibt sich aus der profilverformenden Diagonalkraft S (Bild 2.5).

Diese Gleichung hat dieselbe Form wie die Differentialgleichung des querbelasteten Balkens auf elastischer Bettung. Zu lösen ist dann nur noch die Differentialgleichung für den elastisch gebetteten Balken. Die allgemeine Form der Gleichung mit den zugehörigen Belastungen ist in Bild 3.1 dargestellt. Die gesuchte Lösungsfunktion für die Stegscheibe muß außer der Differentialgleichung auch die Randbedingungen des zu untersuchenden Kastenträgers erfüllen. Auflager müssen durch entsprechende Randbedingungen berücksichtigt werden, d. h., die Durchbiegungen bei $Y = 0$ und $Y = L$ (L = Stützweite) müssen Null sein. Für eine Vielzahl von Grundsystemen mit unterschiedlichen Randbedingungen sind die Schnittgrößen und Verformungen für den Balken auf elastischer Bettung von Hetényi in /31/ gegeben worden.

3.1.1 Literaturauswertung

Das Problem des räumlichen Lastabtrags von Kastenträgern hat schon sehr frühzeitig zahlreiche Forscher beschäftigt. Erste Arbeiten zu diesem Thema kamen aus dem Gebiet des Stahlbaus, wo - angeregt durch die Aufgabe im Flugzeugbau und im Stahlbrückenbau - das Problem der Wölbkrafttorsion an Kastenprofilen behandelt wurde (s. Literaturverzeichnis in /70/).

Soweit diese ersten Veröffentlichungen über Kastenträger auf die Querbeanspruchung eingehen, wird - wie in Helig /30/, Knittel /37/, Resinger /70/ - meist ein querbiegestarrer Kasten (Bild 2.4) angenommen. Man geht hierbei davon aus, daß bei hinreichend geringen Querschottabständen der Hohlkastenträger beim Verdrehen seine Querschnittskontur beibehält und ausreichend genau mittels der Membrantheorie (Scheibentheorie) berechnet werden kann. Die Autoren vernachlässigen bei ihren Ansätzen die Kastenwandbiegesteifigkeit mit der Begründung, daß die Kastenwanddicke im Verhältnis zu ihrer Höhe sehr gering ist. Diese Voraussetzung ist im Stahlbau solange richtig, wie die Wandbleche nicht durch Beulsteifen gehalten und der Querschottabstand nicht zu groß wird. In allen anderen Fällen - so auch im Massivbrückenbau - hat die Rahmentragwirkung von Kastenträgern einen erheblichen Einfluß auf die Kräfteumlagerung, so daß hier die Berücksichtigung der Profilverformung in der Regel einen wesentlich größeren Einfluß hat als die Berücksichtigung der Wölbkrafttorsion.

Eine allgemeine Darstellung der Querschnittsverformung von Kastenträgern ist mit den Arbeiten von Lacher /49/, Sedlacek /81/ und Wlassow /96/ gegeben. Die Angabe des Lösungswegs ist von Wlassow in /96/ so allgemein gehalten, daß für den hier betrachteten speziellen Fall von Kastenprofilen die Lösung erst nach längerer Einarbeitungszeit in die Wlassow'sche Methode gefunden werden kann. Der Weg führt dabei über ein System simultaner Differentialgleichungen, die Einzellasten - wie sie im Brückenbau üblich sind - nur mit großem Aufwand berücksichtigen können.

Lacher /49/ hat, aufbauend auf der Deformationsmethode von Wlassow /96/, das Problem für beliebige Querschnitte in Matrixschreibweise formuliert und die zur Aussteifung des Kastens erforderlichen Querschotte diskret in Tragwerkslängsrichtung verteilt. Wegen ihrer allgemeinen Darstellung sind diese Ausarbeitungen weniger für die Praxis geeignet.

Yajima forderte in /98/ einen festen vorzuzählenden Querschottabstand - unabhängig von den baupraktischen Belangen - um seine vereinfachte Gleichung benutzen zu können. Da die

Querschnittsverzerrung die Größe der Wölbnormalspannungen wesentlich beeinflußt, kann man sich jedoch bei Tragwerken, bei denen die Lasten auch zwischen den Schotten angreifen können, nicht darauf beschränken, nach vereinfachten Ansätzen irgendeine vermutlich genügende Anzahl von Querschotten einzubauen, um dann nach der klassischen Theorie der Wölbkrafttorsion weiterrechnen zu können. Dieser Weg bietet sich in der Regel nur für Kastenträger im Stahlbau an, wo die Querschotte nachträglich zwischen die Hauptträgerstege eingeschweißt werden können. Im Massivbrückenbau bedeutet jedoch der Einbau von Querträgern im Feldbereich wegen der erforderlichen monolithischen Verbindung mit den Stegen - Erfordernis von Anschlußbewehrung - einen baubetrieblich und wirtschaftlich ungerechtfertigt hohen Aufwand, der nicht mit der Begründung der Verwendung eines einfachen Rechenverfahrens zu rechtfertigen ist.

Während viele Autoren nur eine theoretische Lösung des Problems der Wölbkrafttorsion aufzeigen, gibt Bornscheuer in /7/ und /8/ eine umfangreiche Formelsammlung zur Spannungsberechnung dünnwandiger Stäbe an, anhand derer der in der Praxis tätige Bauingenieur schnell zu Zahlenergebnissen kommt.

Im Hinblick auf die praktikable Anwendung der entwickelten Lösungen beschränken sich die meisten Arbeiten auf spezielle Querschnittsformen. Mit dem quadratischen Querschnitt befaßt sich Eßlinger /19/. Den einfach symmetrischen, rechteckigen Kastenträger behandelten Dabrowski /14/, Mrotzek /62/, Resinger /70/ und Steinle /87/ - /89/. Veröffentlichungen über den einfach symmetrischen Trapezquerschnitt liegen von Dabrowski /14/, Dauner /15/ und Kupfer /48/ vor. Eßlinger /19/ und Dabrowski /14/ haben speziell den Einfluß der Verzerrungen auf die Normalspannungen untersucht. Diese Arbeiten enthalten keine Möglichkeit, verschiedene Lastgruppen schnell zu erfassen, da jeweils die Praktikulärlösungen gefunden und zusammen mit der homogenen Lösung an die Randbedingungen angepaßt werden müssen, so daß der praktische Wert für den entwerfenden Ingenieur wieder gering wird.

Hees hat in /27/ ein Verfahren für einzellige Kastenträger beliebiger Geometrie in einer zur Wölbkrafttorsion von Bornscheuer in /7/, /8/ veröffentlichten analogen Darstellung entwickelt, dessen Anwendung wegen der vielen geometrischen Kenngrößen eines beliebig geformten Querschnitts sehr aufwendig ist. Auch Usuki hat sich in /92/ mit der Theorie einzelliger, beliebig geformter Stäbe auseinandergesetzt. Beide Verfahren berücksichtigen auch die Verformungen aus sekundären Wölbspannungen, die von den vorstehenden Verfahren z. T. vernachlässigt wurden. Usuki /92/ berücksichtigt zusätzlich noch die Verformungen aus den Schubspannungen der Profilverformung und die Drillmomente in den Wänden.

Die o.g. Berechnungsverfahren gehen zur Minimierung von Einflußparametern von konstanten Dicken der einzelnen Platten- bzw. Stegelementen und rechtwinkliger Anordnung dieser Bauteile zueinander aus. In seiner Arbeit /67/ untersucht Prakash Rao den Einfluß von Vouten, Kragarmlänge, Stegneigung und -dicke auf die Querbiegemomente und Längsspannungen infolge Profilverformung. Die Grundlage aller bisher genannten Arbeiten ist die erweiterte Biege- und Verdrehtheorie, deren allgemeine Theorie für den dünnwandigen Stab unter beliebiger Belastung in den Arbeiten Schardt /73/, Sedlacek /81/ und Wlassow /96/ enthalten ist.

Mit der Berechnung schiefwinkliger, einzelliger Kastenträger setzen sich Pelle /66/ und Malek /53/ in ihren Arbeiten auseinander. Beide weisen darauf hin, daß "exakte" Lösungen der tatsächlich auftretenden Beanspruchungen nur mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode numerisch auf Großrechenanlagen zu ermitteln sind. Pelle entwickelte hiermit modifizierte Lastumordnungen, so daß solche Tragwerke mit der üblichen Reduktion auf das statische System des schief gelagerten Stabs zurückgeführt werden können und dabei auch die Endbereiche der Träger mit befriedigender Genauigkeit erfaßt werden. In /53/ wird mit Hilfe von Finite-Elemente-Berechnungen ein Näherungsverfahren zur Berechnung der Schnittgrößen für o. g. Querschnittsform entwickelt, das auf Einfeld- sowie für Durchlaufträger über zwei Felder anwendbar ist.

Mehrzellige Hohlkästen werden in den Arbeiten von Castrillón /9/, Dittler /16/, Moustafa /61/ und Sulke /91/ erläutert. Der symmetrische, dreizellige Kastenträger, dessen äußere Zellen aus Dreieckzellen bestehen (Bild 3.2), wird von Castrillón behandelt. Aufgrund der Dreieckzellen besitzt der untersuchte Querschnitt nur eine Verformungsmöglichkeit. Die entwickelten Näherungsansätze lassen sich nicht verallgemeinern und auf andere Profilformungen übertragen.



Bild 3.2 Mehrzelliger Hohlkasten mit außenliegenden Dreieckszellen

Eine Lösungsmöglichkeit nach der erweiterten Biegetheorie für den mehrzelligen Hohlkastenträger mit zueinander parallelen Deck- und Bodenplatten sowie dazwischen beliebig angeordneten Stegen stellt Sulke in /91/ vor. Die darauf aufbauende Untersuchung des Einflusses der Zellenanzahl auf die Tragwirkung zeigt, daß ab drei Zellen in Kastenquerrichtung keine bessere Querverteilung von Lasten erreicht werden kann.

Die Problematik der Vorspannung von Hohlkästen mit außenliegenden Dreieckzellen, wie sie Castrillón /9/ untersucht hat, zeigt Lippoth in /52/. Durch die starke Neigung der Außenstege erzeugen die Umlenkkräfte aus der Vorspannung der äußeren Stege Zugspannungen in der Bodenplatte der Mittelzelle, die nicht vollständig durch Wirkung der Umlenkkräfte in den Innenstegen vermindert oder überdrückt werden können. Die Vernachlässigung dieses Effekts hat schon zu größeren Schäden an Spannbetonbrücken geführt. Für die Berechnung dieser Beanspruchung von Hohlkastenträgern quer zur Längsachse aus parabelförmiger Spanngliedführung gibt Koepcke in /38/ eine einigermaßen zutreffende Berechnung an.

Prismatische Tragwerke wie Kastenträger lassen sich auch nach der Faltwerktheorie berechnen. Im Gegensatz zur Balkentheorie wird hierbei nicht der Gesamtquerschnitt zugrunde gelegt, sondern man geht von den einzelnen Konstruktionselementen des Tragwerks aus. Die Deck- und Bodenplatten werden mit den Stegen an den Knotenlinien unter Beachtung der Gleichgewichts- und Verträglichkeitsbedingungen gekoppelt. Eine ausführliche Beschreibung dieser Theorie findet sich bei Nyffeler /64/. Linienlasten lassen sich hierbei noch in Handrechnungen erfassen, während für exzentrische Einzellasten ein verhältnismäßig großer Rechenaufwand erforderlich wird.

Den Übergang zwischen den Faltwerktheorien bei geschlossenen Querschnitten zur Finite-Elemente-Methode füllt die Finite-Streifen-Methode. Hierbei wird das Tragwerk durch Streifen, die sich in Brückenlängsrichtung erstrecken, diskretisiert. Das Verformungsverhalten dieser Tragwerke wird durch harmonische Funktionen beschrieben, die per Ansatz bestimmte Randbedingungen an den Trägerenden erfüllen. Die Anwendung der Methode kann jedoch nur bei statisch bestimmten Systemen erfolgen. Die verknüpfenden Unbekannten der Streifen sind die Verschiebungswerte an den Streifenrändern. Der numerische Aufwand ist dabei im Vergleich zur Finite-Elemente-Methode wesentlich geringer, wenngleich Einzellasten nur durch eine große Anzahl von Reihengliedern berücksichtigt werden können. Du Preez /68/ bearbeitete hierfür den Lösungsansatz für den allgemeinen Fall eines prismatischen Flächentragwerks, wobei die Konstanten in den Lösungsansätzen des Differentialgleichungssystems die Anpassung an beliebige Randbedingungen an den Trägerenden erlaubt.

Die komplexe computerunterstützte wissenschaftliche Untersuchung des Tragverhaltens von Kastenträgern ist im Ausland wesentlich weiter verbreitet. Die verwendeten Programme beruhen dabei sowohl auf der Faltwerktheorie als auch auf der Finite-Streifen-Methode und der Finite-Elemente-Methode. Die Untersuchungen gehen wegen des großen EDV-Aufwands dabei in zwei grundsätzlich unterschiedliche Richtungen. Einerseits werden geometrisch aufwendige Strukturen mit einfachen Lastbildern bearbeitet und für diese Spezialfälle Lösungen erar-

beitet. So behandeln Alam und Honglaromp /1/ den gekrümmten Hohlkasten mit Zwischenschotten im Feldbereich, Scordelis und Mitarbeiter in /77/ und /80/ den schiefen vierzelligen Kastenträger über zwei Felder mit Querschotten über den Auflagern und im Feldbereich, Sisodiya und Mitarbeiter in /84/ den gekrümmten Kastenträger mit schiefer Lagerung über ein oder zwei Spannweiten und Pulmano /69/ den durchlaufenden mehrzelligen Kastenträger ohne Querwände. Eine Übersicht über weitere Artikel und weitere neue Entwicklungsarbeiten ist in /85/ vorhanden.

Andererseits werden dynamische Untersuchungen (Cheung /11/ u.a.) bzw. das zeitabhängige Verhalten von Betonhohlkastenträgern (Scordelis und Mitarbeiter /77/, /78/ und /82/) an einfachen statischen Grundsystemen untersucht.

3.1.2 Grundlagen der ausgewählten Berechnungsverfahren

Auch die in der Übersicht in den nächsten Abschnitten vorgestellten praxisbezogenen Rechenverfahren haben ihre Anwendungsgrenzen, da durch geschlossene Lösungen die Übertragbarkeit vom einzelligen Kastenträger auf den mehrzelligen Kastenträger nicht möglich ist oder durch Ansatz eines torsionssteifen Kastens die Lösungen nicht dem wirklichen Tragverhalten eines Kastenträgers im Massivbrückenbau entsprechen.

Diesen Berechnungsverfahren liegen im allgemeinen folgende Annahmen bzw. Vereinfachungen zugrunde:

- die Länge zwischen den Unterstützungspunkten ist groß gegenüber der Kastenbreite ($L/b > 4$)
- die Steg- und Plattendicken sind klein gegenüber ihren Breiten
- die Steg- und Plattendicken sind in Querrichtung konstant (der Einfluß von Vouten ist nach /67/ vernachlässigbar)

- der Hohlkasten ist symmetrisch zur vertikalen Achse und hat über die Kastenträgerlänge einen konstanten Querschnitt
- die Lastumordnung wird nach der in Bild 2.5 dargestellten Methode durchgeführt
- die Berechnung erfolgt nach Zustand I (ungerissener Querschnitt), d.h. Hook'sches Gesetz, Bernoulli-Hypothese vom Ebenbleiben der Querschnitte und Homogenität des Materials werden unterstellt)
- die lotrechten Verschiebungen der Trägerkanten infolge der Verbiegung des Kastens im Querschnitt und infolge der Verdrehung sind klein gegenüber denen aus der Biegung in Längsrichtung
- das Superpositionsgesetz gilt.

Eine formelmäßige Aufarbeitung ist nur für die unter den ersten vier Punkten genannten einfachen Geometrien möglich, da sonst die Handhabbarkeit solcher Lösungen schnell verlorengeht.

3.2 Berechnungsverfahren von Steinle /87/, /88/

Steinle behandelt in /87/ die Beanspruchung des symmetrischen, rechteckigen einzelligen Kastenträgers mit in Längsrichtung gleichbleibendem Querschnitt sowie konstanter Steg- und Plattendicke unter antisymmetrischer Belastung. In seiner Arbeit spaltet er die unsymmetrischen Lasten solange auf und ermittelt sie nach der einfachen Biege- und Torsionstheorie, bis nur noch der Anteil der Profilverformung übrig bleibt, s. Bild 2.5. Die hierfür erforderlichen profilverformenden Kräfte werden dann über den Faltwerkansatz gelöst. Da die profilverformenden Kräfte im Gleichgewicht stehen, können sie somit am freien Tragwerk angesetzt werden, was zu einer Spannungsverteilung führt, die proportional der nomierten Einheitsverwölbung ist.

Die so gefundene Querschnittsverwölbung wird über eine von ihm gewählte charakteristische Größe der Profilverformung zur Differentialgleichung der Profilverformung umgeformt. Als charakteristische Größe verwendet er dabei den Winkel τ , der sich aus der Verdrehung der oberen Gurtscheibe gegenüber der vertikalen Stegscheibe ergibt. Zur Ermittlung der Einheitsverwölbung gibt Steinle für den von ihm behandelten Querschnitt geschlossene Lösungen an. Die endgültige Differentialgleichung der Profilverformung hat dieselbe Form wie die Differentialgleichung des Balkens auf elastischer Bettung (Bild 3.1). Mit den in Tabelle 3.1 zusammengestellten analogen Beziehungen ist es ihm nun möglich, die Differentialgleichung der Profilverformung zu lösen.

Die Lagerung des Kastenträgers in Tragwerkslängsrichtung sowie die Einleitung diskontinuierlicher Einzellasten werden korrekt erfaßt.

Bei Wölbbehinderung oder diskontinuierlicher exzentrischer Belastung (z. B. Einleitung von Einzellasten in den Querschnitt) entsteht neben der St. Venant'schen Torsion noch Wölbkrafttorsion. Steinle weist nach, daß diese Zusatznormalspannungen rasch abklingen bzw. klein sind gegenüber den an-

deren für die Bemessung maßgebenden Biegespannungen und deshalb vernachlässigt werden können.

3.3 Berechnungsverfahren von Kupfer /48/

Mit dem von Kupfer vorgestellten Verfahren können die Querbiegemomente und Scheibenkräfte von Kastenträgern mit kontinuierlicher elastischer Queraussteifung ermittelt werden. Auch bei diesem Verfahren wird der Fall der einseitig wirkenden Einzellast mit der Analogie des elastisch gebetteten Balkens gelöst. Die Lastanordnung für die einseitig wirkende Last geschieht genau wie im Verfahren von Steinle. Jedoch beschreitet er zur Lösung der durch die Diagonalbeanspruchung entstehenden Querbiegemomente einen anderen Weg.

Der durch eine Diagonalkraft beanspruchte Kastenträger wird in zwei Tragsysteme aufgeteilt, wobei das Tragsystem A der Kasten mit gelenkiger Verbindung der Knotenpunkte darstellt (entspricht Verformungsfall b) in Bild 2.4), so die Längstragwirkung dokumentiert wird. Das Tragsystem B ist ein steifknotiger Kasten (entspricht Verformungsfall c) in Bild 2.4), der die Quertragwirkung simulieren soll. Die beiden Tragsysteme A und B werden durch die Erfüllung der Verträglichkeitsbedingung miteinander verknüpft, indem die Durchbiegung in Feldmitte gleichgesetzt wird. Für den einzelligen einfachsymmetrischen Rechteck- und Trapezkasten mit Kragplatten werden geschlossene Formeln angegeben, mit denen sich die Querbiegemomente und zugehörigen Wölbspannungen ermitteln lassen. Neben der Erweiterung auf den trapezförmigen Kasten werden auch Hinweise gegeben zur Anwendung der ermittelten Methode auf den mehrzelligen Kastenträger. Bei der Herleitung der Formeln wird von einem unendlich langen Kasten mit konstantem Querschnitt ausgegangen.

3.4 Berechnungsverfahren von Knittel /37/

Knittel gibt in seiner Veröffentlichung ein Berechnungsverfahren zur Ermittlung des Spannungs- und Verschiebungs-

zustands von ein- und mehrzelligen dünnwandigen Kastenträgern mit gleichbleibendem symmetrischen Querschnitt an. Für die Ermittlung der Beanspruchung in Querrichtung wird der Kasten in eine Vielzahl gleichartiger geschlossener Rahmen aufgelöst, die von endlicher Länge sind und sich gegenseitig nicht beeinflussen (Bild 3.3). Durch Vernachlässigung der Längsbiegesteifigkeit der Stege ist es somit möglich, die Querbiegemomente durch eine Rahmenberechnung zu ermitteln.

Durch Ausnutzung der Symmetrien und Antimetrien nach Belastungsumordnung entstehen die voneinander unabhängigen Beanspruchungen der reinen Biegebeanspruchung des Längstragwerks, der reinen Biegung in Richtung des Querschnitts und der reinen Torsion (St. Venant'schen Torsion). Durch Vernachlässigung der Lagerungsbedingung in Längsrichtung können mit den Ansätzen von Knittel lediglich auf der sicheren Seite liegende Obergrenzen für die Querbeanspruchung des Querschnitts gefunden werden. Die Erfassung der im Brückenbau vorhandenen hohen Einzellasten, z. B. über mitwirkende Breiten, ist nur mit Hilfe anderer Veröffentlichungen möglich.

3.5 Berechnungsverfahren von Hofbauer /32/

Hofbauer hat in seiner Arbeit keinen neuen Ansatz für die Lösung der profilverformenden Beanspruchung angegeben, sondern auf der Grundlage des in Abschnitt 3.3 beschriebenen Berechnungsverfahrens /48/ die infolge profilverformender Belastung entstehenden Zusatzbeanspruchungen in übersichtlicher Form hergeleitet und Parameterstudien für den unsymmetrisch belasteten Kastenträger bei Einfeld- und Mehrfeldsystemen durchgeführt.

Im Einleitungsbereich der Auflagerkräfte werden Querschotte vorausgesetzt. Durch Ansatz einer wirklichkeitsnahen Belastung durch Ersatz der Einzellast in drei Einzellasten weist er nach, daß sich die Querbiegemomente durch eine genauere Lastaufteilung kaum ändern, während die Längsnormalspannungen im Vergleich zur Einzellast in Feldmitte bis zu 17% reduziert werden. Die Zusatzbeanspruchungen infolge Profilverformung

können im Bereich von $a/L = 0.1$ bis 0.2 die gleiche Größe erreichen wie die Längsnormalspannung infolge symmetrischer Belastung. Ein Ergebnis, das bei den vorgestellten anderen Handrechenverfahren weitestgehend übergangen wird.

Für allgemeine Durchlaufsysteme gelang es ihm, durch Vergleichsberechnung zu zeigen, daß die Erfassung der Zusatzbeanspruchung infolge Profilverformung genügend genau an einer Betrachtung am Dreifeldträger durchgeführt werden kann. Für den einzelligen Kastenträger als Einfeldträger sowie näherungsweise für den Durchlaufträger von großer Schlankheit wird in Form von Diagrammen Hilfe zur Ermittlung von Zusatzbeanspruchungen angegeben. Die Längsnormalspannungen und Querbiegemomentenverteilung mit und ohne Querschotte für wandernde Lasten werden aufgezeigt.

3.6 Berechnungsverfahren von Schlaich/Scheeff /74/

Nachdem die Aufteilung der Belastung in symmetrische und antimetrische Anteile genau wie in den vorangegangenen Verfahren behandelt wird, erfolgt die anschließende Berechnung des einzelligen Rahmens an einem herausgelösten Rahmenelement der Länge $d_y = 1$, das durch die Schubkraftdifferenzen und den Längsspannungsdifferenzen mit der äußeren Belastung im Gleichgewicht steht.

Für die symmetrischen Lastanteile werden für die Querbiegemomente und die Normalkräfte unter Knotenlasten, Knotenmomenten und für Verlängerung der oberen Platte infolge Temperatur bzw. Verkürzung durch Vorspannung geschlossene Lösungen angegeben. Bei der antimetrischen Belastung wird zunächst angenommen, daß sich der Kasten in Querrichtung nicht verformt. Diese Unverformbarkeit wird dadurch erreicht, daß ein fiktiv gedachter Diagonalstab die Verformung der Rahmenecken verhindert. Auf der Grundlage der Faltwerktheorie wird diese im Stab vorhandene Diagonalkraft S ermittelt. Diese wird dann in Scheibenlasten zerlegt und als äußere Belastung auf das Tragwerk angesetzt. So wird ein Teil der Diagonalkraft S durch Biegung der Scheiben in Längsrichtung wie beim Balken abge-

tragen und zum zweiten Teil durch den Widerstand des Rahmens gegen Profilverformung abgetragen. Dieses läßt sich dann wieder lösen über die Differentialgleichung des Balkens auf elastischer Bettung, wobei die Belastung aus der Diagonalkraft S ermittelt wurde.

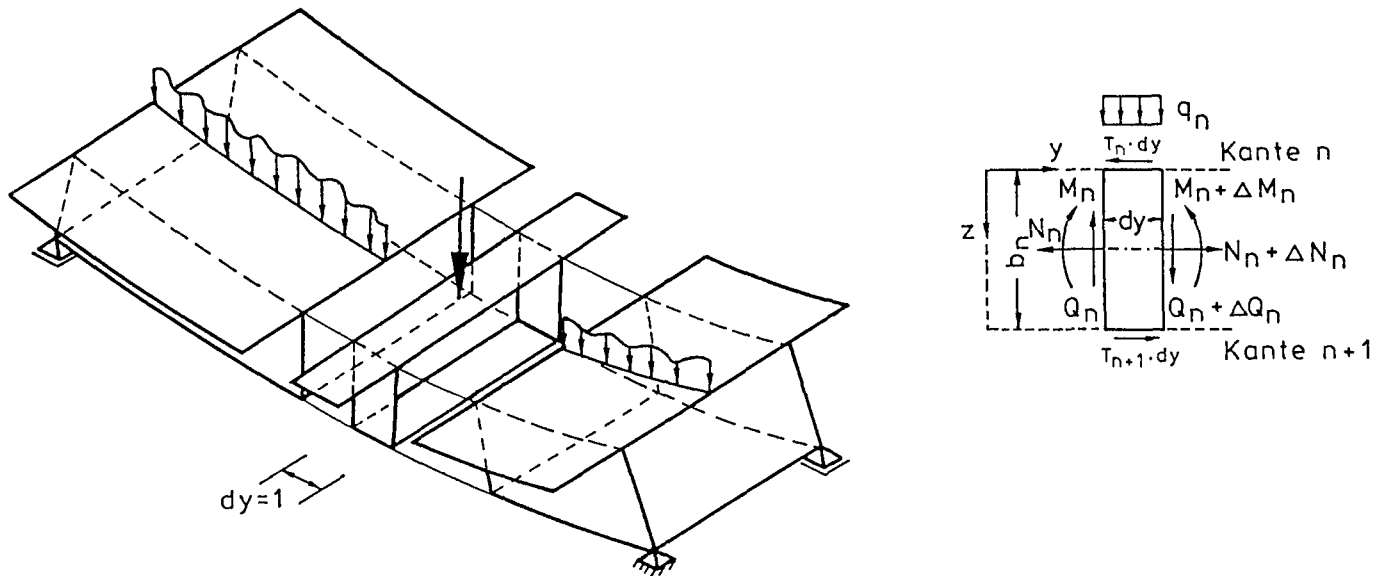


Bild 3.3 Herausgelöstes Rahmenelement und Scheibenbeanspruchung des Stegs

Grundsätzlich ist es möglich, dieses Verfahren auch auf mehrzellige Hohlkästen anzuwenden. Jedoch wird durch Zunahme der statischen Unbestimmten die Handrechnung zu aufwendig. Lösungen, die auf der strengen Faltwerktheorie beruhen, bieten sich deshalb für mehrzellige Hohlkästen nur zur punktuellen Prüfung von computerunterstützten Berechnungen des Überbaus mit Hilfe der Finite-Streifen-Methode oder der Finite-Element-Methode an.

3.7 Berechnungsverfahren von Glahn /23/

In dem Beitrag von Glahn zur Berechnung der Profilverformung symmetrischer einzelliger Kastenträger wird das Verfahren von Steinle auf veränderliche Querschnittswerte in Längs- und Querrichtung erweitert. Somit kann der Einfluß von Vouten in Querrichtung berücksichtigt werden. Hierfür ist das von ihm vorgeschlagene Verfahren, dessen Ausgangspunkt der Satz von Minimum der potentiellen Energie ist, noch in Handrechnung lösbar. Das hieraus erhaltene Potential wird wie bei Steinle durch die analogen Beziehungen zum elastisch gebetteten Balken gelöst. Die analogen Beziehungen unterscheiden sich allerdings grundsätzlich von denen von Steinle, da dort die Verdrehung der oberen Gurtscheibe über der vertikalen Stegscheibe als verknüpfende Verformungsgröße angenommen wurde, während Glahn als verknüpfende Verformungsgröße die horizontale Verschiebung der Fahrbahnplatte wählt.

Im zweiten Teil der Arbeit wird gezeigt, daß sich die Profilverformung auch bei in Längsrichtung veränderlichen Querschnittsverhältnissen mit Hilfe des elastisch gebetteten Balkens gelöst werden. An dieser Stelle wird aber der Einsatz eines Mikrocomputers sinnvoll, da das Problem eines elastisch gebetteten Balkens mit veränderlichen Systemgrößen zu bewältigen ist, hierfür aber keine geschlossenen Lösungen in Tabellenwerken wie /31/ vorliegen. Bei Tragwerken mit veränderlichem Querschnitt in Brückenlängsrichtung ist die Bodenplatte gekrümmt, so daß die Längsspannungen zusätzliche Querbiegungen erzeugen. Glahn setzt dabei erstmals voraus, daß ein Ingenieur heute über elektronische Rechenprogramme zur Ermittlung von Rahmenverformung und zur Ermittlung der Beanspruchung des elastisch gebetteten Balkens verfügt.

3.8 Berechnungsverfahren von Lindlar /45/;/51/

Es wird ein einfach zu handhabendes Verfahren zur näherungsweise Berechnung der Profilverformung für Kastenträger mit einfachsymmetrischem Rechteckquerschnitt vorgestellt. Das wirkliche Tragwerk des Kastenträgers wird bei diesem Verfah-

ren durch ein Ersatzsystem beschrieben, das auf den analogen Beziehungen zum elastisch gebetteten Balken beruht. Für die zur Lösung dieses Ersatzsystems erforderlichen Bettungsziffern, Ersatzträgheitsmomente und Ersatzhebelarme zur Ermittlung der Spannungen wurden Bemessungsnomogramme ermittelt, die den Aufwand der numerischen Handrechnung vereinfachen. Mit dem vorgestellten Verfahren ist die Ermittlung von Einflußlinien für Schnittgrößen oder Spannungen aus Profilverformungen leicht möglich; es ist gegenüber den anderen Verfahren, die nur den Querschnitt in Feldmitte betrachten, auch eine Untersuchung in Brückenlängsrichtung möglich. Die Untersuchung in Längsrichtung zeigt, daß der Einfluß der Profilverformung keineswegs vernachlässigbar ist.

3.9 Zusammenfassung

Die Mehrzahl der beschriebenen Lösungsverfahren hat allerdings keine Resonanz beim in der Praxis tätigen Ingenieur gefunden, da diese in der Regel zu aufwendig in der Handhabung sind bzw. sie die geforderten Randbedingungen in bezug auf wirtschaftliche Bauverfahren - z.B. keinen Querträger an den Lastangriffspunkten, eine Forderung, die im Brückenbau mit seinen großen wandernden Einzellasten nicht realistisch ist - nicht erfüllen oder nur spezielle Teillösungen bieten, die eine komplette Berechnung des zu untersuchenden Tragwerks nicht ermöglichen. Einen allgemeingültigen Lösungsweg, der alle wesentlichen Einflußfaktoren (Schlankheit, Querschnittsform und -geometrie) erfaßt sowie die Belastungsverhältnisse von DIN 1072 - Straßen- und Wegebrücken; Lastannahmen - berücksichtigt, gibt es zur Zeit noch nicht.

4. THEORETISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUM TRAGVERHALTEN VON ZWEI-ZELLIGEN KASTENTRÄGERN IM ELASTISCHEN ZUSTAND MIT DER FINITE-ELEMENTE-METHODE

4.1 Allgemeines

Die theoretischen Untersuchungen zum Lastabtrag wurden für einen zweizelligen Kastenträger durchgeführt, dessen Fahrbahnplattenbreite zur Aufnahme eines halben Autobahnquerschnitts mit zwei Fahr- und einer Standspur sowie zugehörigen Leiteinrichtungen geeignet ist. Im Hinblick auf den größeren Aufwand bei der Bauausführung hält man die Zahl der Zellen auch bei breiten Brücken so gering wie möglich. Bereits ab drei Zellen erfolgt keine wesentlich bessere Querverteilung der Lasten mehr. Durch die Erhöhung der Zellenanzahl können dann keine signifikanten Reduzierungen der Längsbiegespannungen des Haupttragwerks mehr erreicht werden. Aus diesen wirtschaftlichen und statischen Gründen werden deshalb mehr als zwei Zellen beim Hohlkastenträger heute selten ausgeführt.

Als statisches System wurde das Innenfeld einer mehrfeldrigen Brücke mit Feldweiten zwischen 30 m und 60 m zugrunde gelegt. Als Hauptparameter wurden die Kasten geometrie mit Höhen zwischen 1.60 m und 6.00 m sowie die zur Erfassung der Verkehrslasten gemäß DIN 1072 /102/ für diese Untersuchungen entwickelten Einheitslastfälle festgeschrieben. Der Wahl dieser Parameter gingen umfangreiche Tastrechnungen und Konvergenzuntersuchungen voraus, die in den folgenden Kapiteln beschrieben werden.

Das Ausgangsbrückenbauwerk für diese Parameterstudie bildete das statische System und der Querschnitt der Talbrücke Kattenohl /44/ (Querschnitt in Bild 4.10), deren Geometrie auf die o. g. konstruktiv und wirtschaftlich noch sinnvollen Grenzwerte ausgedehnt wurde. Diese Brücke war eine der ersten zweizelligen Kastenträger, bei der im Rahmen von Probebelastungen mit Einzelfahrzeugen zur Beurteilung der Tragfähigkeit im Bereich von verpreßten Koppelfugenrissen festgestellt wurde, daß die Querverteilung von symmetrischen Lasten nicht

den der Berechnung zugrunde liegenden Ansätzen entspricht. Eine genauere Untersuchung der Ursachen erfolgte zum damaligen Zeitpunkt nicht, da dieses Ergebnis ein Nebenprodukt der eigentlichen Untersuchungen war.

4.2 Das Programm SAP V

Die theoretischen Untersuchungen der Parameterstudie erfolgten mit einem Programm das in der Rechenanlage des Rechenzentrums der TU Braunschweig implementiert ist. Dieses Programmsystem SAP V (Structural Analysis Program /4/) ist besonders gut geeignet zur linearen statischen und dynamischen Berechnung von Tragwerken. Das Programm basiert auf der Methode der Finite-Elemente, die gut geeignet ist, komplizierte Strukturen der Kontinuumsmechanik durch diskrete Elemente zu erfassen. Eine ausführliche Beschreibung dieser Methode findet sich in /3/ und /76/. Das hier verwendete Programm SAP V ist eine verbesserte Version des weit verbreiteten Programms SAP IV, das durch einen Bandbreitenoptimierer und die Plotmöglichkeit von unverformten und verformten Elementnetzen ergänzt wurde. Diese Plotmöglichkeit ist eine praktisch unverzichtbare Eigenschaft zur wirtschaftlichen Fehlerminimierung durch visuelle Kontrolle der eingegebenen Strukturen. Mit SAP V läßt sich das elastische Tragverhalten von Strukturen berechnen. Ein mindestens in Längsrichtung vorgespannter Hohlkastenträger befindet sich im Gebrauchszustand im überwiegenden Bereich im Zustand I (ungerissener Querschnitt), so daß der Ansatz eines linearen Stoffgesetzes für die angestrebten Ergebnisse deshalb hinreichend genau ist.

Bei der Methode der Finite-Elemente wird die Gesamtstruktur des Tragwerks durch verschiedene endliche Elemente ersetzt. Diese Elemente sind an den Eckpunkten miteinander verbunden. Die sonst zur Ermittlung des Tragverhaltens von Kastenträgern erforderlichen zweidimensionalen partiellen Differentialgleichungen werden durch diese Diskretisierung auf ein System algebraischer linearer Gleichungen reduziert.

Die an jedem Element angreifende Belastung wird über das Element aufintegriert und als Knotenkraft bzw. Knotenmoment am Verbindungsknoten zum nächsten Element angesetzt. Durch Vorgabe eines Ansatzes für die Verschiebungen werden zuerst die Verdrehungen und Verschiebungen der Knotenpunkte ermittelt. Die Gleichgewichts- und Verträglichkeitsbedingungen liefern dann die n Gleichungen für die n Unbekannten, wobei n von der Anzahl der Elemente und der Anzahl der Freiheitsgrade je Knoten abhängt. In einer Nachlaufrechnung werden dann die Spannungen und Schnittgrößen für die Elementmitten berechnet. Die Verformungen und Schnittkräfte, die mit einer Finite-Element-Berechnung bestimmt werden, sind in Bild 4.1 zusammengefaßt.

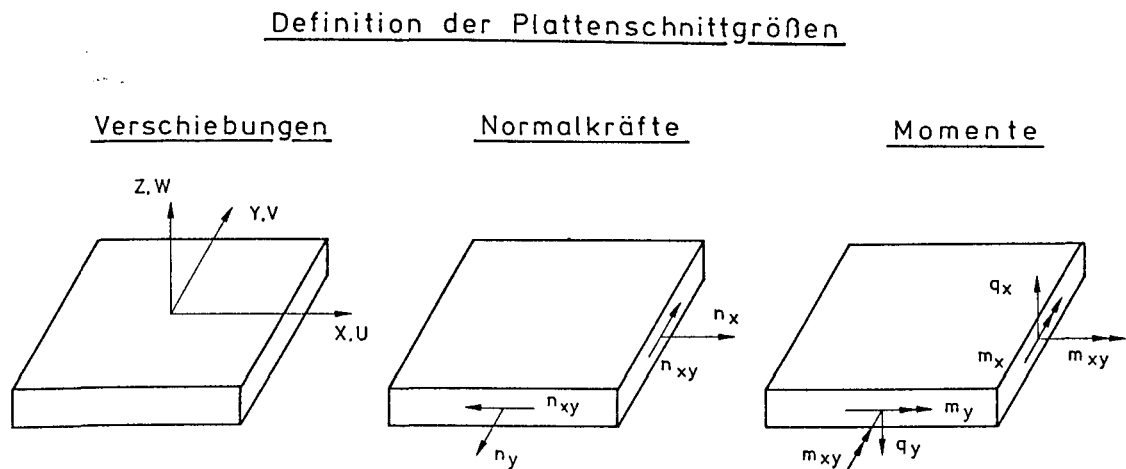


Bild 4.1 Weg- und Kraftgrößen am dünnen Platten- und Schalelement

Der Gleichgewichtszustand wird nur global im Mittel erfüllt; daher sind z. B. Sprünge im Spannungsverlauf an den Elementengrenzen nichts Ungewöhnliches. Bei der Spannungsauswertung werden daher nur Spannungen in den Elementmitten betrachtet und die dazwischenliegenden Spannungsordinaten interpoliert.

Durch die Beschränkung auf Finite-Elemente ist diese Berechnung mit einem FEM-Programm eine Näherung. Um sinnvolle und verwertbare Ergebnisse zu erhalten, muß man die

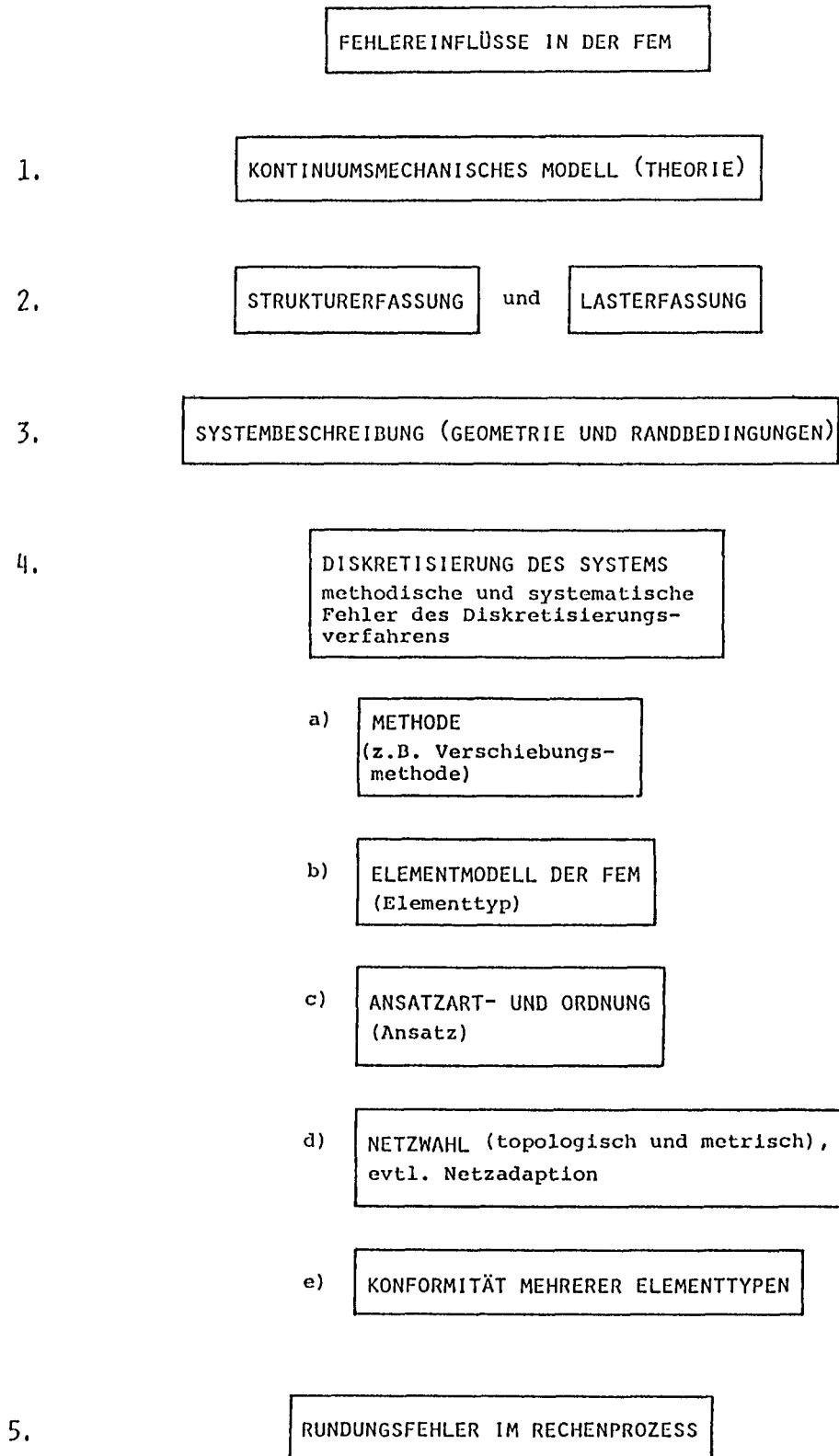


Bild 4.2 Mögliche Fehlerursachen bei einer FE-Berechnung
(entnommen aus /65/)

prinzipiellen Fehlermöglichkeiten dieser Methode kennen und ausreichende Kontrollen vorsehen.

Stein gibt in /65/ mögliche Ursachen von Fehlern (Bild 4.2) bei einer Berechnung mit der FEM an. Hieraus folgt unter anderem, daß für die Güte der Ergebnisse die Netzwahl sehr entscheidend ist. Mit zunehmender Netzdichte werden die Ergebnisse der exakten Lösung immer mehr angenähert.

Dieser erforderlichen und wünschenswerten feinen Elementaufteilung sind aber auch heutzutage noch Grenzen durch die endliche Leistungsfähigkeit der Rechenanlage gesetzt. Räumlich große Gebilde, wie sie in diesem Fall vorliegen, können nicht mehr ohne weiteres vollständig berechnet werden. Man muß sich vorher durch Konvergenzuntersuchungen Klarheit darüber verschaffen, welche Elemente zu verwenden sind und an welchen Stellen eine besonders feine Aufteilung der Elemente erforderlich ist. Die Voruntersuchungen zum Lastabtrag von mehrzelligen Kastenträgern hatten ergeben, daß der Ort der Lasteinleitung in Bauwerkslängsrichtung von großem Einfluß auf die Querverteilung ist. Es mußte daraufhin das Tragwerk über die gesamte Länge in möglichst kleine Elemente unterteilt werden.

Der Vorteil dieser Methode liegt jedoch darin, daß es überhaupt keine Beschränkungen für die Struktur, die Lagerung sowie die Belastung des zu untersuchenden Tragsystems gibt. Deshalb wurde auch in Amerika bereits diese Methode erfolgreich zur Berechnung von Kastenträgern unter einer anderen Zielsetzung angewandt /77/ - /80/.

4.2.1 Kontrolle der Ergebnisse

Die Genauigkeit der Ergebnisse hängt von der Anzahl der Elemente ab. Für jeden Knoten bzw. jedes Element werden die Eingabewerte - bestehend aus den Knotennummern, Knotenkoordinaten im globalen System, Materialkennwerte, Elementabmessungen, Lasten und Zuordnung dieser Einzelangaben zueinander - sowie die Ergebnisse, d.h. Verschiebungen und Verdrehungen

jeden Knotens, Spannungen und Momente für die Elementmitten bzw. nur die Schnittgrößen für die Elemente ausgedruckt. Da keine Steuerung der Datenausgabe möglich ist, ergibt sich bei der erforderlichen feinen Elementteilung eine derartige Zahlenflut, daß die Untersuchungen wertlos werden, wenn nicht zumindest die Größenordnung einzelner Ergebnisse durch z. B. einfache Kontrollberechnungen per Hand bestätigt werden können.

Um die grundsätzliche Richtigkeit sowie die Zuverlässigkeit der FE-Rechnungen zu prüfen, wurden bei den Datensätzen Verformungs- und Gleichgewichtskontrollen durchgeführt.

Diese bestanden aus

- der Gleichgewichtskontrolle ($\Sigma V = 0$, $\Sigma H = 0$),
- der Prüfung der Verformung und Spannungen in Feldmitte sowie an den Feldenden,
- Auftragung der Verformungen in Tragswerkslängsrichtung zur Überprüfung eines kontinuierlichen Verlaufs,
- Auftragung der Spannungen in Teilbereichen des Querschnitts zur Überprüfung des kontinuierlichen Verlaufs,
- graphischer Darstellung eingegebener Strukturen mittels Plotter zur Überprüfung von Diskontinuitäten in der Elementanordnung

4.3 SAP-Elemente

Von den im Programm SAP V insgesamt neun zur Verfügung stehenden Finite-Elementen zur Diskretisierung des Trägers wurde im Rahmen dieser Studie auf die Elemente

- Typ 6, dünnes Platten- und Schalenelement
- Typ 7, Randelement

zurückgegriffen.

4.3.1 Dünnes Platten- und Schalenelement

Das dünne Platten- und Schalenelement wird, wie im Bild 4.3 dargestellt, von vier Knoten beschrieben, ist von beliebiger Geometrie und wird aus verträglichen Dreiecken gebildet. Der zentrale Knoten liegt auf den gemittelten Koordinaten der Eckpunkte. Die sechs inneren Freiheitsgrade pro Element werden noch vor dem Einbau in das Gesamtsystem herauskondensiert. Das endgültige Viereckselement besitzt somit 24 Freiheitsgrade, sechs pro Knoten. Bei der Verwendung ist zu beachten, daß eine Steifigkeit gegenüber der Drehung, um die Flächennormale nicht definiert ist. Dieser Freiheitsgrad ist nicht anwendbar und muß im Datensatz unterdrückt werden.

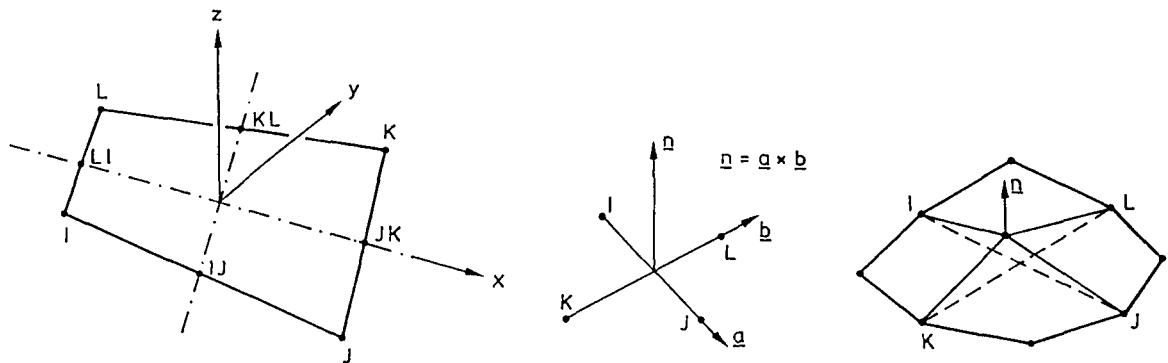


Bild 4.3 Knotenpunkte, Koordinatensystem und Verdrehungsrandbedingungen beim dünnen Platten- und Schalenelement

Neben den vier Eckknotenpunkten des Elements sind weitere Angaben zur kompletten Beschreibung erforderlich:

- spezifisches Gewicht
- Schalendicke des Elements
- Materialsteifigkeitswerte

In Bild 4.4 a) sind die Bestimmungsgleichungen zur Spannungsermittlung für den räumlichen Spannungszustand in Matrizen-schreibweise angegeben. Die Spannungen ergeben sich durch Multiplikation der Materialsteifigkeitswerte mit den Verformungen. Die Steifigkeitswerte C sind eine Funktion der Baustoffgüte. Durch Querdehnung hervorgerufene Verformungen sind zugelassen (Bild 4.4 b)).

$$a) \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{xx} & C_{xy} & C_{xz} \\ C_{xy} & C_{yy} & C_{yz} \\ C_{xz} & C_{yz} & G_{xy} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix}$$

$$C_{xz} = C_{yz} = 0$$

$$b) \begin{aligned} C_{xx} &= C_{yy} = \frac{E}{1-\mu^2} \\ C_{xy} &= \mu \frac{E}{1-\mu^2} \\ G_{xy} &= \frac{E}{2(1+\mu)} \\ C_{xz} &= 0 \end{aligned}$$

$$c) \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{E}{1-\mu^2} \varepsilon_x + \mu \frac{E}{1-\mu^2} \varepsilon_y \\ \sigma_y &= \frac{E}{1-\mu^2} \varepsilon_y + \mu \frac{E}{1-\mu^2} \varepsilon_x \\ \tau_{xy} &= \frac{E}{2(1+\mu)} \gamma_{xy} \end{aligned}$$

Bild 4.4 a) Räumlicher Spannungszustand
 b) Materialsteifigkeitsfaktoren
 c) Ebener Spannungszustand

In den folgenden Untersuchungen wird der für Betonbrückenüberbauten am meisten verwendete Beton B 35 mit einem Elastizitätsmodul $E_b = 34000 \text{ MN/m}^2$ und einem Gleitmodul $G_b = 14000 \text{ MN/m}^2$ entsprechend der DIN 4227 - Spannbetonbau - sowie eine

Querdehnzahl von $\mu = 0.2$ zur Ermittlung der Steifigkeitswerte C angenommen.

Eine Betrachtung am dreidimensionalen Kontinuumselement ist nicht erforderlich, da bei dem benutzten dünnen Platten- und Schalenelement die Spannung in Richtung der Flächennormalen (Bild 4.3) nicht definiert ist. Der räumliche Spannungszustand (Bild 4.4 a) reduziert sich dadurch auf den Sonderfall des in Bild 4.4 c dargestellten Spannungszustands. Eine ausführliche Beschreibung des Platten- und Schalenelements ist in /13/ zu finden.

4.3.2 Randelement

Das Randelement wird definiert durch eine einzige gerichtete Achse, die durch einen Knotenpunkt hindurchgeht. Durch seine lineare Dehnsteifigkeit entlang der Achse und eine lineare Drehsteifigkeit um diese Achse können hiermit Dehn- und Drehfedern simuliert werden, so daß es möglich ist:

- Knotenverschiebungen vorzugeben,
- Knotenverdrehungen vorzugeben,
- Reaktionskräfte zu bestimmen,
- linearelastische Lagerungsbedingungen für Knoten zu schaffen.

4.4 Durchgeführte eigene Untersuchungen

4.4.1 Untersuchte Systeme und Lastfälle

Ausgehend von dem in /44/ beschriebenen Brückenbauwerk, dessen wirklicher und für die Berechnung idealisierter Querschnitt in Bild 4.10 dargestellt ist, werden die Parameter für die eigenen Untersuchungen fixiert. Bei der Brücke handelt es sich um eine mehrfeldrige Talbrücke mit Stützweiten in den Mittelfeldern von 45 Metern. Die Untersuchungen wurden

für das Mittelfeld einer solchen Brücke für die Stützweiten 30 m, 45 m und 60 m durchgeführt. In den hieraus resultierenden drei statischen Systemen wurde in einem zweiten Schritt die Kasten geometrie variiert. Dieses geschah durch Abstufung der Kastenhöhe des idealisierten Querschnitts von 1.60 m über 2.00 m; 4.00 m; bis 6.00 m Höhe.

Als äußere Einwirkungen wurden die vertikalen Hauptbeanspruchungen eines Brückenüberbaus aus Eigengewicht und die Verkehrsregellasten für Bundesfernstraßen angesetzt.

Ziel der rechnerischen Untersuchungen am zweizelligen Hohlkastenquerschnitt ist es, eine Aussage über die qualitative und quantitative Abhängigkeit der Querverteilung von der Kasten geometrie zu erhalten.

4.4.2 Konvergenzuntersuchungen

Die Eingangsproblematik einer jeden Berechnung mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode liegt in der Diskretisierung der Geometrie des zu untersuchenden Tragwerks und der anzusetzenden Lasten. In Kapitel 4.2 wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Güte der Ergebnisse und damit der Abstand zum exakten Ergebnis stark von der Netzdichte abhängt. Die Lösung dieses Problems ist im vorliegenden Fall besonders wichtig, weil bislang keine exakten Lösungen zur Ermittlung der Querverteilung in Abhängigkeit von der Kasten geometrie und der Laststellung vorliegen. Bei SAP V wird ein Ansatz für die Verschiebungen vorgegeben (Weggrößenverfahren) und nach Ermittlung der Verformungen in einer Nachlaufrechnung daraus die Spannungen (s. Bild 4.4) und Momente ermittelt. Daraus ergibt sich, daß die Weggrößen exakter berechnet sind als die daraus resultierenden Kraftgrößen.

An einem einzelligen, einfeldrigen Hohlkasten, der an beiden Trägerenden gelenkig gelagert war, wurden Tastrechnungen zur Ermittlung der erforderlichen Elemente durchgeführt. Bei den hier nicht einzeln aufgeführten Tastrechnungen wurde die Anzahl der Stegelemente von einem Stegelement über die gesamte

Steghöhe bis zu vier Stegelementen pro Steghöhe verändert. Bei einer entsprechenden Teilung des Tragwerks in Längsrichtung, so daß keine entarteten Elemente entstehen (Seitenverhältnis 1 : 1 bis 1 : 2), ergab sich bei Anordnung von vier Stegelementen eine ausreichende Übereinstimmung mit den Ergebnissen der exakten Lösung.

Ausgehend von diesen Grundüberlegungen und den anzusetzenden Lasten, wurde die Geometrie für einen zweizelligen Hohlkastenträger entwickelt, deren struktureller Aufbau in Kapitel 4.4.3 - Räumliche Diskretisierung des Kastenträgers - detailliert beschrieben wird. Dieser Ausgangsdatensatz war in Trägerlängsrichtung ein statisch bestimmt gelagerter einfacher Balken, der an den Feldenden unter den drei Stegen direkt unterstützt wurde. Dieses System mußte nun, wie im Bild 4.5 aufgezeigt, an die Randbedingungen für das Innenfeld einer mehrfeldrigen Talbrücke angepaßt werden.

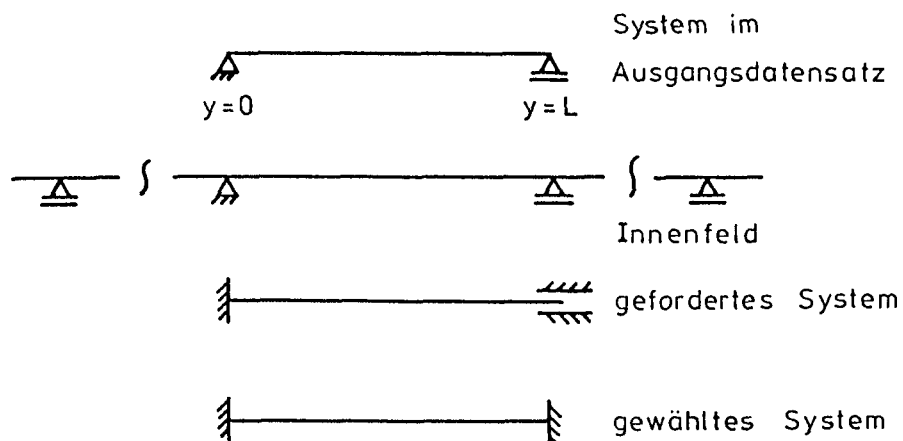


Bild 4.5 Wahl des statisches System des Längstragwerks

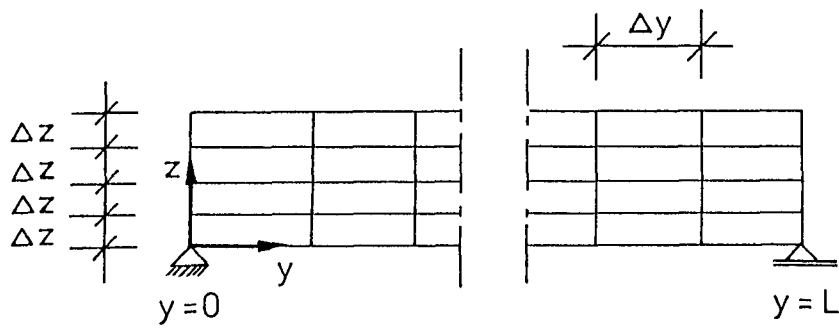
Abweichend von der Lösung in der ebenen zweidimensionalen Stabstatik, liegt das Problem hierbei in der Anpassung der räumlichen Struktur an die Randbedingungen des tatsächlichen Bauwerks. Die wirklichkeitsnahe Lagerung der Brücke in Bauwerkslängsrichtung erfordert eine unverschiebliche Lagerung und Einspannung an der einen Seite des Trägerendes bzw. eine verschiebliche Lagerung und volle Einspannung an der gegen-

überliegenden Seite des Trägers (s. Bild 4.5 - gefordertes System). In Abhängigkeit von den Steifigkeitsverhältnissen - Tragwerksgeometrie und Belastungsanordnung - liegt in Wirklichkeit eine elastische Einspannung des Innenfeldes vor; diese wurde vereinfachend als volle Einspannung angenommen. Die starre Einspannung konnte u.a. deshalb gewählt werden, da bei Laststellungen in benachbarten Feldern zur Ermittlung z. B. der ungünstigsten Schnittgrößen des betrachteten Feldes eine gleichmäßige Lastverteilung angesetzt werden kann.

Die Forderung der verschieblichen Lagerung des Tragwerks in Brückenlängsrichtung am Feldende entspricht dem mechanischen Modell einer Schiebehülse. In mehreren Schritten wurde wie in Bild 4.6 dargestellt, das für die Parameterstudie zweckmäßige statische System in Brückenlängsrichtung ermittelt. Dabei wurde die direkte vertikale Lagerung der Stege an den Feldenden nicht verändert. Das Lastbild für diese Untersuchung stellte bei der FE-Berechnung $6 \times 100 \text{ KN}$ in Feldmitte über dem Mittelsteg und bei der Handrechnung $3 \times 200 \text{ KN}$ dar (Bild 4.7).

In der ersten Tastrechnung am System I wurde die volle Torsionssteifigkeit aller Randelemente um die X-Achse, d. h. in Brückenquerrichtung an den Feldenden aktiviert. Hierdurch sollte die horizontale Tangente an der Einspannstelle erhalten werden. Bei einer Berechnung des Längstragwerks mit einem Stabwerksprogramm und dem Ansatz einer ebenen Struktur wäre dieser Ansatz völlig ausreichend gewesen. Die graphische Darstellung der Durchbiegung in Feldmitte in Bild 4.8 zeigt jedoch für das System I eine völlig unzureichende Übereinstimmung mit der Handrechnung.

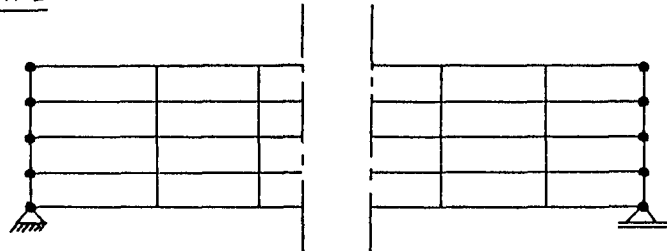
In dem zweiten Schritt wurden deshalb zusätzlich die volle Dehnsteifigkeit der Randelemente in Brückenlängsrichtung am Feldanfang aktiviert, um so eine Translation der Knoten in Y-Richtung auszuschließen. Dieses System entspricht den mechanischen Erfordernissen der Aufgabenstellung bei



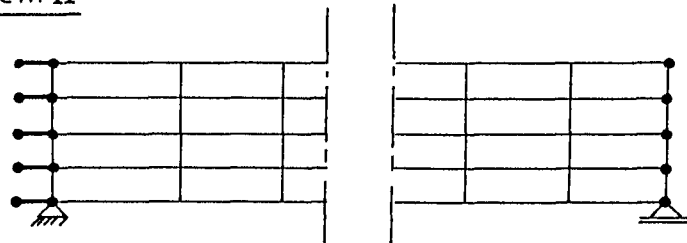
- Verdrehung um x-Achse zu Null gesetzt

- Translation in y -Richtung zu Null gesetzt

System I



System II



System III

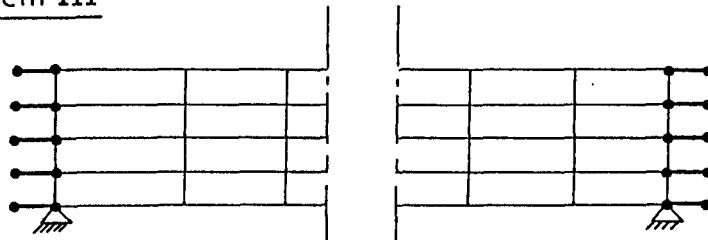


Bild 4.6 Systeme des Längstragwerks der Tastrechnung zur Berücksichtigung der Randbedingungen durch Randelemente

Berechnung eines ebenen Stabwerks durch Ansatz einer vollen Einspannung am Trägeranfang und einer Schiebehülse am Trägerende. Wie die Darstellung der Durchbiegungen in Feldmitte in Bild 4.8 und die Auftragung des prozentualen Fehlers in Bild 4.9 zeigen, konnte hierbei schon eine wesentlich bessere Anpassung an die Ergebnisse der Handrechnung erreicht werden.

In Bild 4.9 ist die Konvergenz des Fehlers in der Durchbiegung des Längstragwerks in Abhängigkeit von den Randbedingungen aufgetragen. Es wurden die gemittelten Durchbiegungen aus der FE-Rechnung unter den drei Stegen denen der nach der Stabstatik ermittelten gegenübergestellt und der daraus resultierende Fehler in Prozent aufgetragen. Da auch bei System II die ermittelten Durchbiegungen noch nicht die für die Untersuchung erforderlichen Genauigkeiten hatten, wurde beim System III auch noch die volle Dehnsteifigkeit der Randelemente in Brückenlängsrichtung am Feldende aktiviert. Das statische System in Tragwerkslängsrichtung entspricht somit dem beidseitig eingespannten Balken. Hierbei konnte eine genügende Übereinstimmung mit den Durchbiegungen nach der Stabstatik erreicht werden.

Der Vergleich der Systeme I bis III mit der "Handrechnung" in Brückenlängsrichtung zeigt, daß die statischen Systeme I und II nicht geeignet sind, das Tragverhalten des Innenfeldes einer mehrfeldrigen Talbrücke ausreichend zu beschreiben. Für den Ansatz des Systems III in Brückenlängsrichtung und der Anordnung von vier Elementen über die Steghöhe spricht die insgesamt gute Übereinstimmung der Ergebnisse mit der Kontrollrechnung. Der begangene Fehler - die Nichtbeachtung der in Brückenlängsrichtung verschieblichen Auflagerung - ist nur durch eine iterative Rechnung zu lösen. Zur Untersuchung der Querverteilung ist dieser Fehler als klein gegenüber dem anzusehen, der begangen würde, wenn das mechanische Modell der Schiebehülse am Feldende (System II) als statisches Grundsystem zur Anwendung käme.

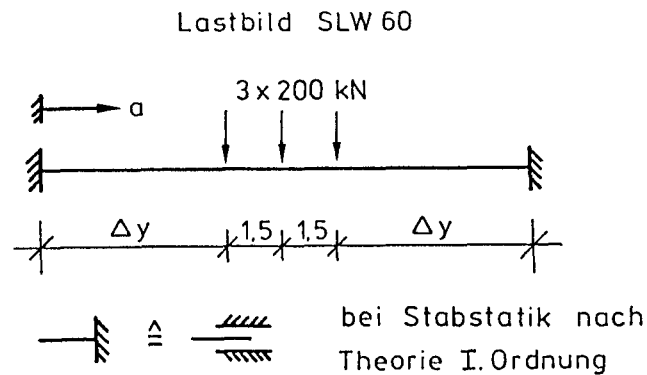


Bild 4.7 Belastung und statisches System der Tastrechnungen gemäß Stabstatik

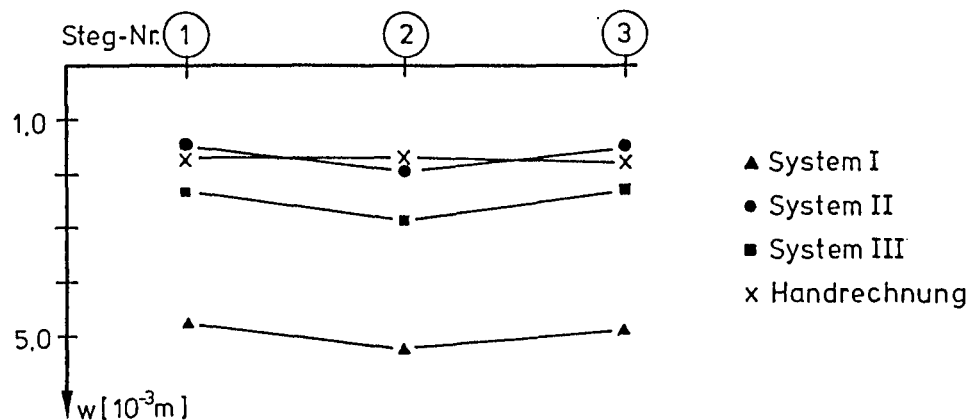


Bild 4.8 Graphische Darstellung der Durchbiegungen in Feldmitte unter den Stegen

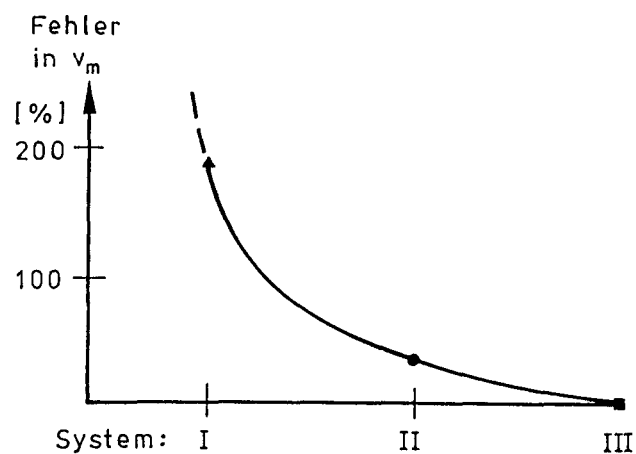


Bild 4.9 Konvergenz der Verformungen in Abhängigkeit von den Randbedingungen der Systeme gemäß Bild 4.6

4.4.3 Räumliche Diskretisierung des Kastenträgers

Das Bild 4.10 zeigt den wirklichen und den idealisierten Querschnitt des Ausgangsbrückenbauwerks für die Parameterstudie. Zur Eliminierung untergeordneter Einflußparameter wurden für die einzelnen Konstruktionselemente konstante Wanddicken angenommen und die geringe Neigung der Außenstege vernachlässigt.

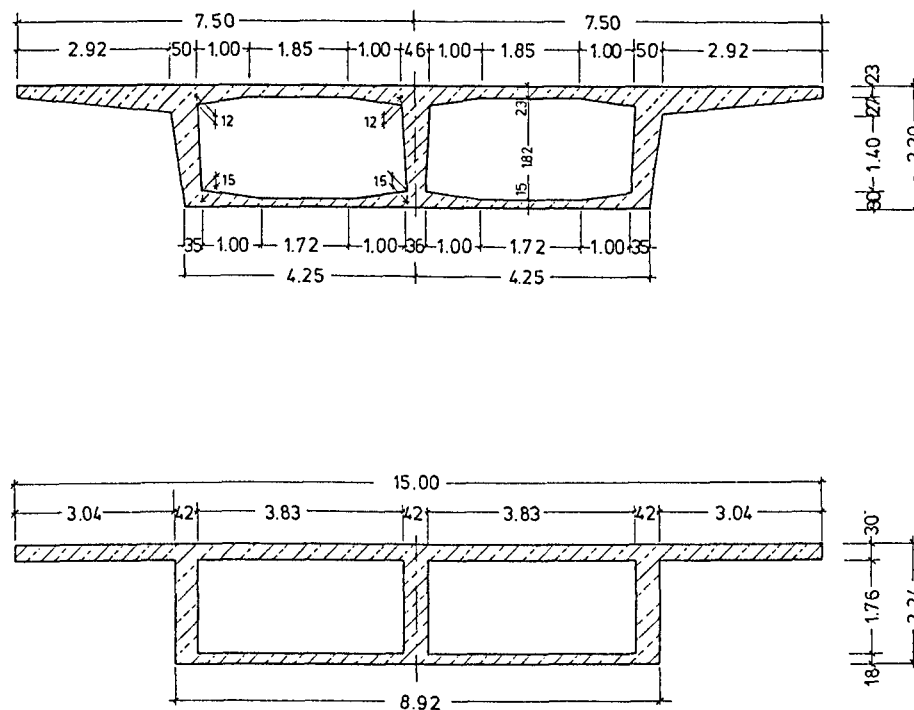


Bild 4.10 Wirklicher und idealisierter Querschnitt der Talbrücke Kattenohl /44/

Die Eingabe der Knotenpunkte erfolgt in einem globalen kartesischen Koordinatensystem in dessen X-Z-Ebene der Brückenquerschnitt angeordnet ist, wobei die X-Richtung in horizontaler Querschnittsrichtung verläuft und die Z-Richtung die vertikale Querschnittsrichtung markiert. Die Brückenlängsrichtung wird in diesem System durch die Y-Richtung beschrieben.

Zur vollständigen geometrischen Beschreibung des zweizelligen Hohlkastenquerschnitts in Tragwerkslängs- und Tragwerksquerrichtung müssen jetzt die Elementknotenpunkte für alle Ele-

mente eingegeben werden. Hierbei ist besonders darauf zu achten, daß die Differenz benachbarter Knotennummern ein Minimum wird, um so eine optimale Bandstruktur der Steifigkeitsmatrix zu erhalten. Die Beachtung dieser Grundsätze ergibt bei großen Datensätzen eine nicht zu vernachlässigende Verkürzung der Rechenzeit und führt zu einer optimalen Ausnutzung der Rechenkapazität.

Bei langgestreckten räumlichen Systemen vereinfacht sich die Numerierung sehr vorteilhaft, denn entscheidend für die optimale Bandbreite ist die Differenz benachbarter Knotennummern in Längsrichtung, so daß die Numerierung in Querrichtung beliebig gewählt werden kann. In den in diesem Bericht untersuchten zweizelligen Hohlkastenträgern wurde die Knotennummerierung und -anzahl für alle Systeme gleich gewählt. Durch die Änderung der Lage der Elementknotenpunkte im globalen Koordinatensystem wurden dann immer neue Kasten geometrien erzeugt, wobei sich die zugehörigen Elementgrößen automatisch ergaben.

Aus der vorgewählten Geometrie ergab, sich wie in Bild 4.12 für den Feldanfang bei $Y = 0$ dargestellt, eine Knotenanzahl von 33 zur Beschreibung des Querschnitts. Diese 33 Knoten in Brückenquerrichtung wiederholten sich dann mit aufsteigender Knotennummerierung, insgesamt 31 mal, in Brückenlängsrichtung bis zum Feldende $Y = L$, so daß das Gesamttragwerk in Brückenlängsrichtung scheibenweise beschrieben wurde. Hierbei wurde die Generierungsmöglichkeit des Programmsystems ausgenutzt, so daß nur die Knotenkoordinaten der ersten und der letzten Querscheibe explizit eingegeben werden mußten und die dazwischenliegenden 29 Knotenreihen automatisch erzeugt wurden.

Da alle Stützweiten die gleiche Elementanzahl hatten, ergab sich für die Brückenlängsrichtung eine variable Elementlänge. Für den 30 m-Kasten wurde von einer konstanten Elementlänge von 1.00 m ausgegangen; bei 45-m-Stützweite wurde die Elementlänge mit 1.50 m gewählt. Wegen der endlichen Leistungsfähigkeit der Rechanlage mußte beim 60 m-Kasten von der konstanten Elementlänge in Brückenlängsrichtung abgewichen werden, da einerseits an der oberen Grenze der möglichen Ele-

mente gearbeitet wurde und andererseits die untersuchten Querschnitte mit denen des 30-m- und 45-m-Kastens übereinstimmen sollten, so daß sich beim 60 m-Kasten in der ersten Hälfte der Stützweite die Elementlängen zwischen 1.50 m und 2.50 m variiert wurden. In der zweiten Hälfte der Stützweite wurde die Generierungsmöglichkeit des Programms ausgenutzt, so daß sich hierfür gleiche Elementlängen ergaben. Diese Vorgehensweise ergab eine unsymmetrische Anordnung der Elementlängen zur Brückenmitte.

Diese komplette Beschreibung des Innenfeldes einer Talbrücke durch endliche finite Elemente und nicht der bereichsweise Ersatz durch z. B. große Balkenelemente ergab sich aus den vorab durchgeführten Tastrechnungen. Die Ermittlung der Querverteilung der Lasten nur in Feldmitte liefert keine ausreichende Aussage über den Lastabtrag eines solchen Tragwerks, da nicht zu vernachlässigende Veränderungen der Quertragwirkung bei Verschiebung der Last in Brückenlängsrichtung vorhanden sind.

In Brückenquerrichtung wurde die Elementlänge in horizontaler Richtung zwischen 1.00 und 1.13 m variiert, um die Lasten entsprechend ihrer Grundrißgeometrie als Knotenlasten aufbringen zu können. Ausgehend von einer Aufteilung der Fahrbahnplatte, wie sie im Bild 1.2 dargestellt ist, ergab sich, daß über jedem Steg eine Fahrspur liegen kann. Die Anordnung einer Fahrspur direkt über den Kastenstegen ergibt die ungünstigste Beanspruchung dieses Konstruktionselements. Der hier anzuordnende Schwerlastwagen (s. Kapitel 4.4.4) hat einen Radabstand von 2.00 m, so daß sich jeweils rechts und links neben dem Steg Elementbreiten von 1.00 m ergaben und die dazwischenliegenden Elemente zur Vervollständigung der Geometrie entsprechend angepaßt wurden.

Über die Steghöhe sind mindestens vier Elemente angeordnet worden, da die vorher durchgeführten Konvergenzuntersuchungen (s. Kapitel 4.2.2) erst ab dieser Stegteilung eine konvergierende Durchbiegung zeigten.

Bei der Wahl eines Brückenüberbauquerschnitts und der konstruktiven Durchbildung bildet die Schlankheit, d. h. die Konstruktionshöhe in Abhängigkeit von der Stützweite, einen wesentlichen Einflußparameter. Um für die gewählten Stützweiten alle gängigen Schlankheiten abzudecken, wurde die Kastenhöhe in vier Schritten von 1.60 m über 2.00 m und 4.00 bis 6.00 m variiert. Hieraus ergaben sich für die Stegelemente Höhen von 0.40 m, 0.50 m, 1.00 m und 1.50 m. Die gewählten Kastenhöhen wurden für alle Stützweiten gleich angesetzt; dadurch ergaben sich für einige Grenzfälle Biegeschlankheiten, die in der Baupraxis unüblich sind. Im Rahmen dieser Parameterstudie dienen diese extremen Abmessungen jedoch der Darstellung von Abhängigkeiten und Tendenzen.

Zur Simulierung der in Kapitel 4.2.2 erarbeiteten Randeinspannungen und Auflagerbedingungen wurden am Feldanfang und Feldende pro Endknoten drei Randelemente angeordnet, s. Bild 4.12. Hieraus ergibt sich ein SAP-Datensatz, der aus 1221 Elementknotenpunkten und 1218 Elementen besteht, wobei sich die 1218 Elemente aus 1020 Platten- und Schalenelementen (Typ 6) und 198 Randelementen (Typ 7) zusammensetzen.

In den Bildern 4.11 bis 4.16 ist exemplarisch für alle Kastenengeometrien das diskrete Ersatzsystem des Ausgangsbauwerks mit 2.00 m Kastenhöhe und 45 m Stützweite dargestellt.

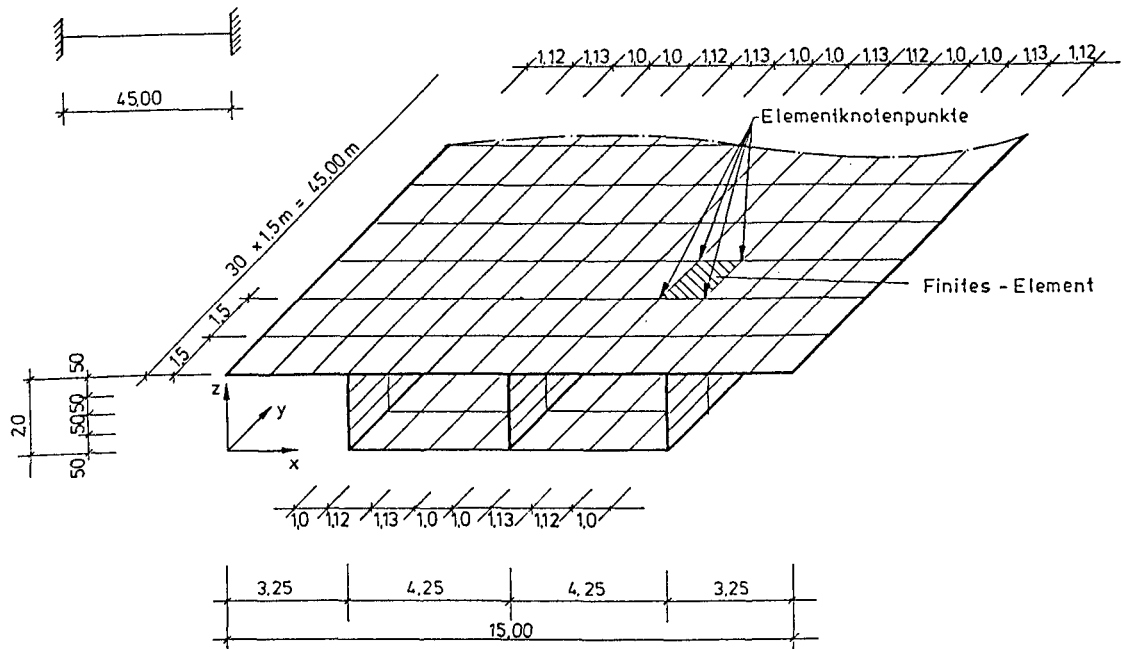
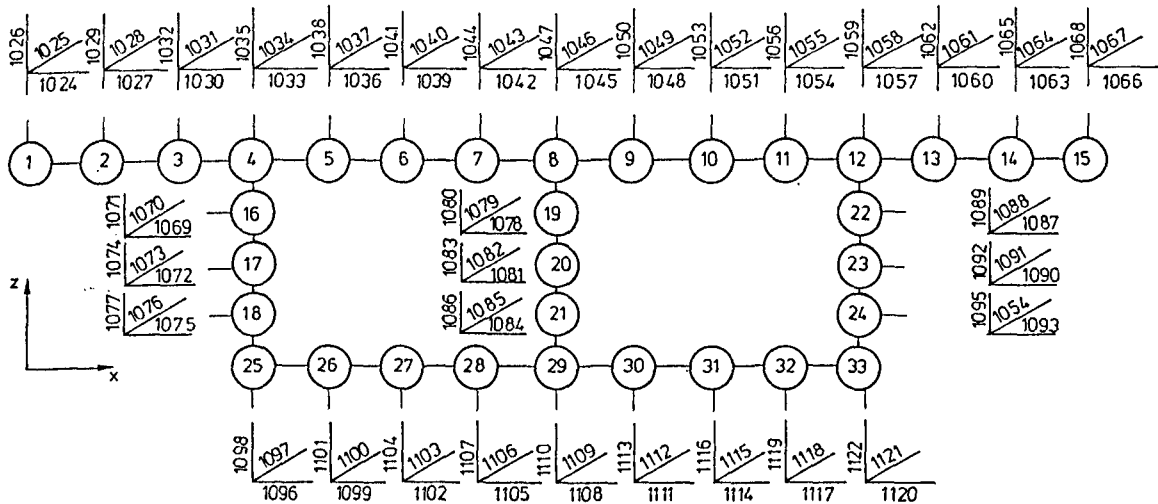


Bild 4.11 Diskretisierung des zweizelligen Kastenträgers für die FE-Berechnungen

Feldanfang $y=0$



Feldende $y=L$

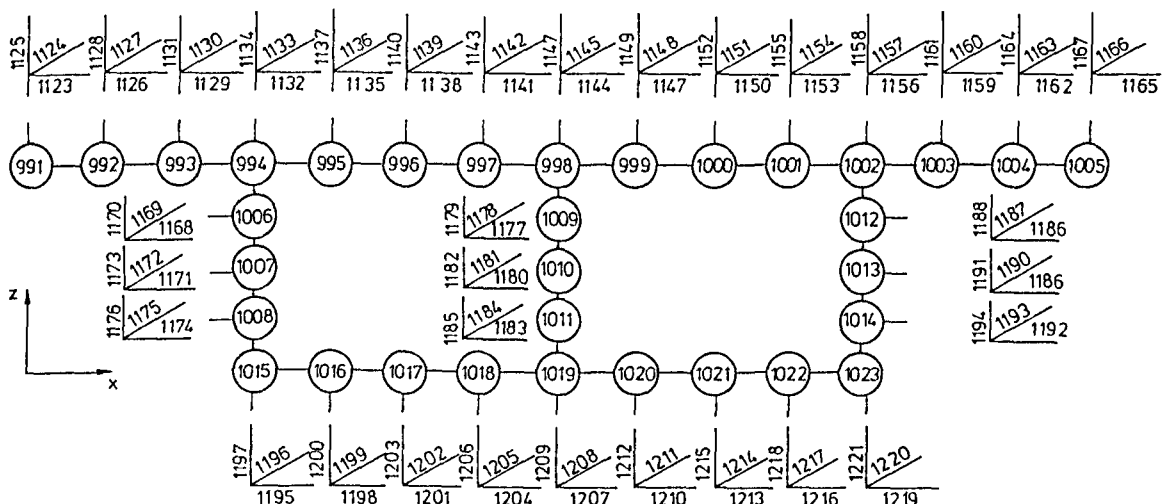


Bild 4.12 Anordnung der Randelemente am Feldanfang und -ende des zweizelligen Kastenträgers

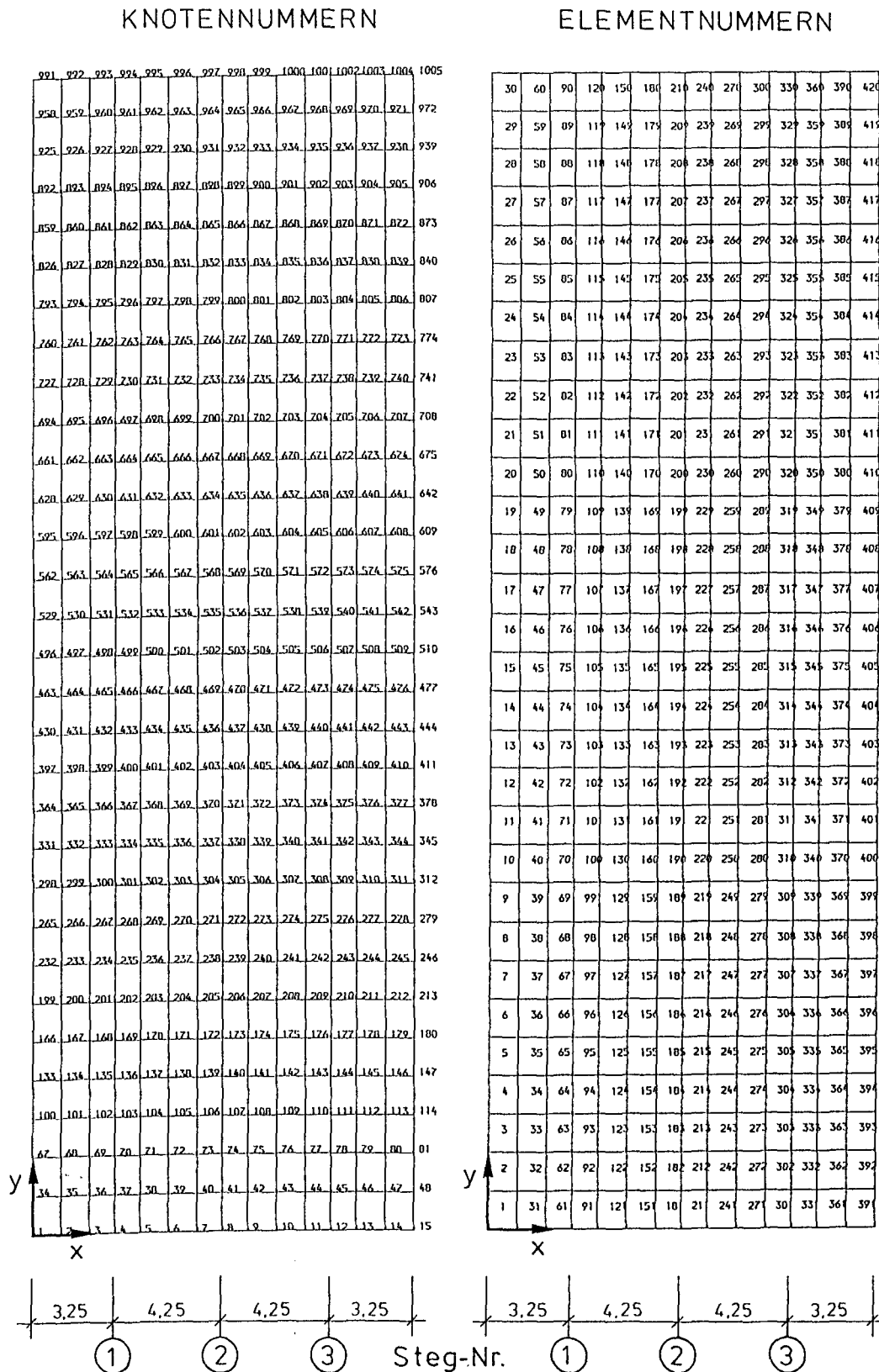


Bild 4.13 Plot der unverformten Struktur der Fahrbahnplatte mit Knoten- und Elementnumerierung

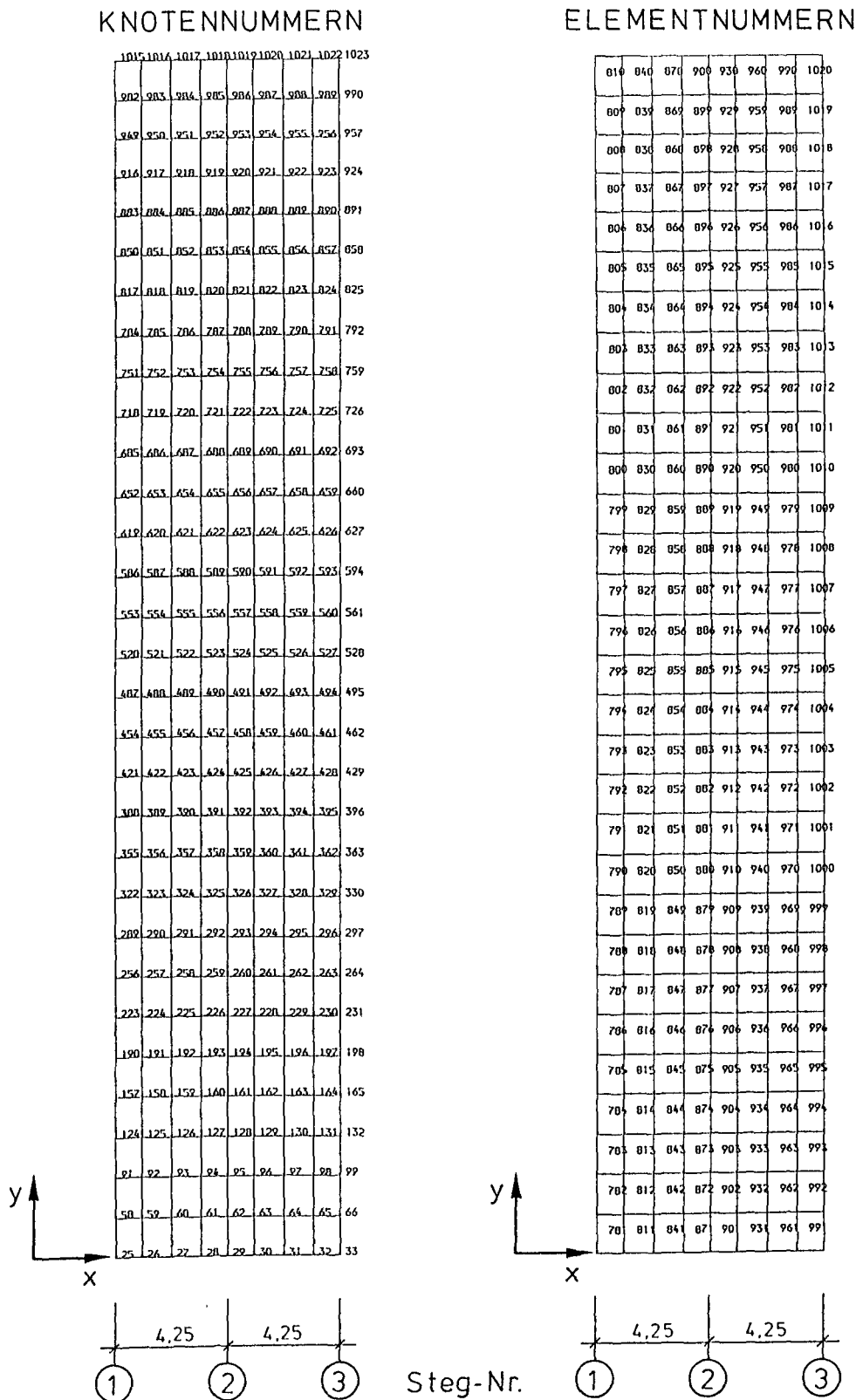
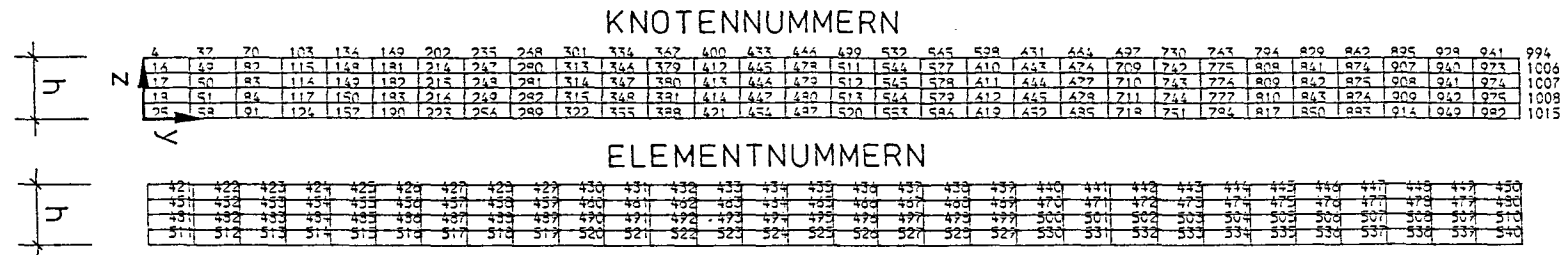
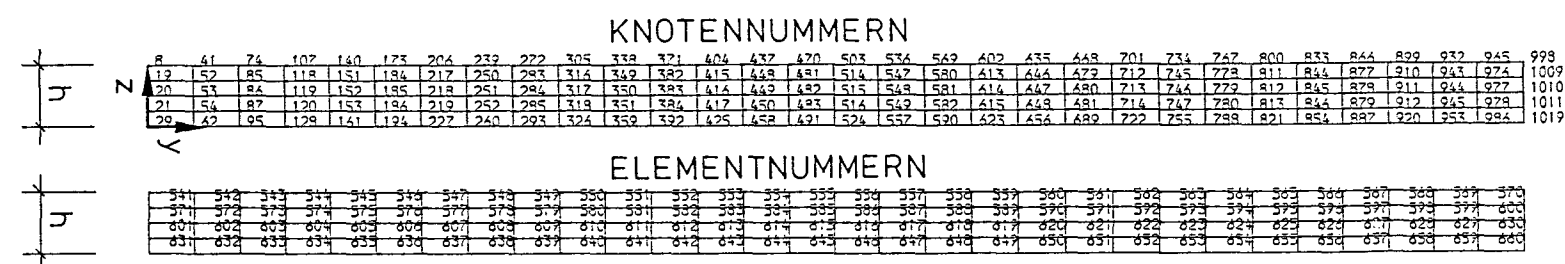


Bild 4.14 Plot der unverformten Struktur der Bodenplatte mit Knoten- und Elementnumerierung

Steg 1



Steg 2



Steg 3

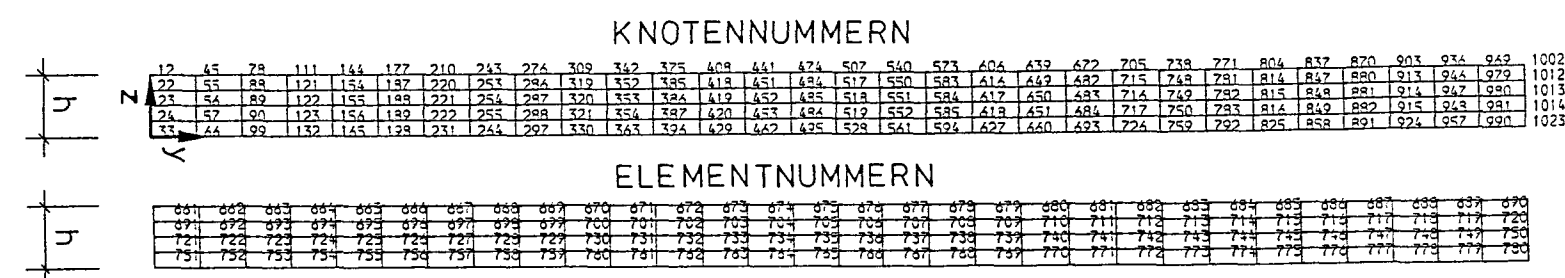


Bild 4.15 Plot der unverformten Struktur der Stege mit Knoten- und Elementnumerierung

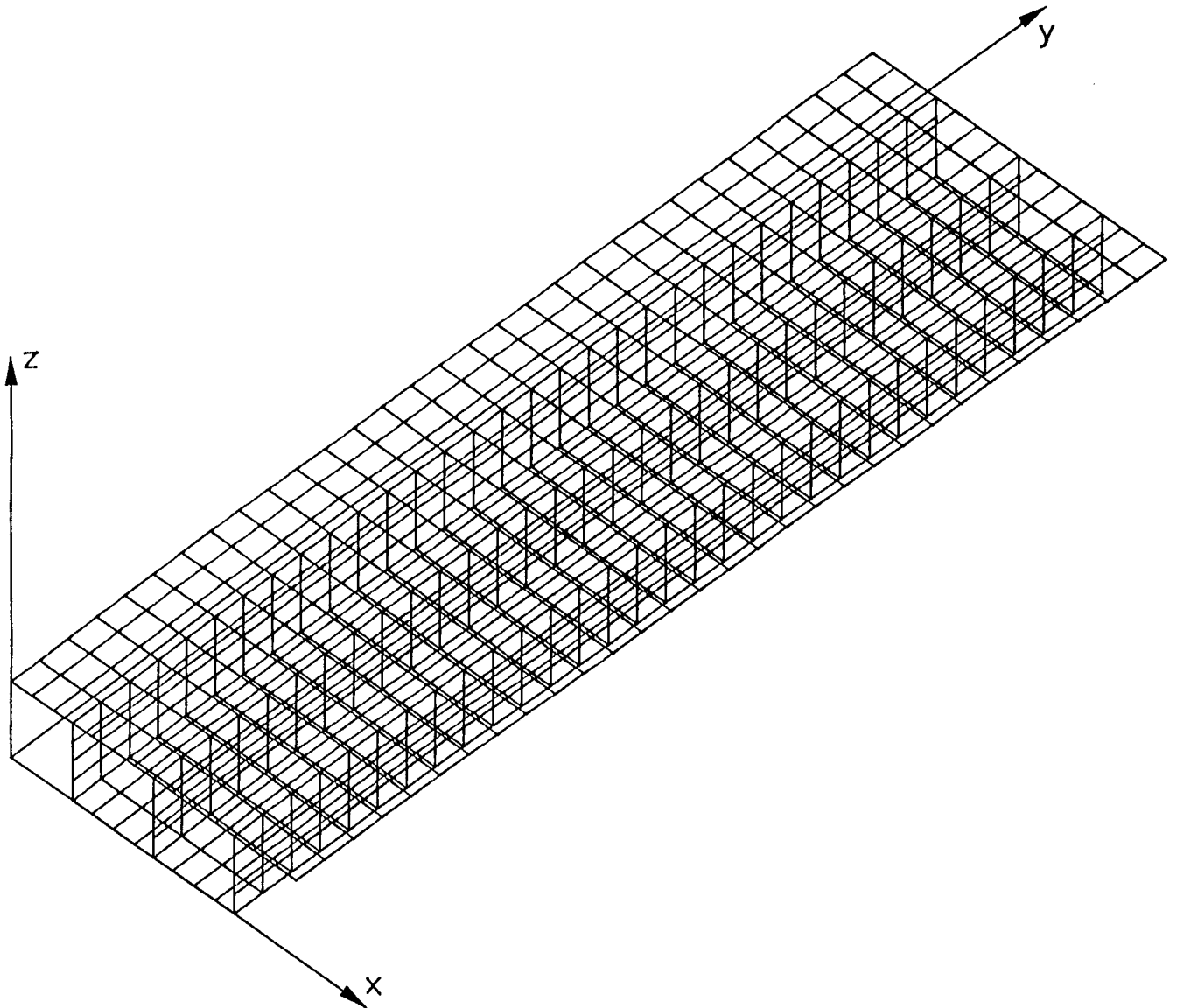


Bild 4.16 Plot der unverformten Struktur des gesamten zweizelligen Hohlkastens in isometrischer Darstellung

4.4.4 Diskretisierung der Lastfälle

Die Lastannahmen für Straßen- und Wegebrücken sind in der DIN 1072 /102/ geregelt. Aus der Vielzahl der zu untersuchenden Haupt-, Zusatz- und Sonderlasten sind im Rahmen dieser Parameterstudie nur die vertikalen Belastungen von Bedeutung.

Aus den vertikalen Belastungen sind hier zu nennen der Lastfall Eigenlasten und die Verkehrsregellasten. Die Eigenlasten der Bauteile sind in den einschlägigen Normen (DIN 1055, Teil 1 und Teil 2) geregelt. Im Rahmen dieser Parameterstudie wird nur das Eigengewicht des in statischer Hinsicht vorhandenen Brückenquerschnitts angesetzt. Auf sogenannte Zusatzeigenlasten, die aus Kappen, Geländern, Distanzschutzplanken und Fahrbahnbelag entstehen, wird wegen des geringen Einflusses auf die Querverteilung verzichtet.

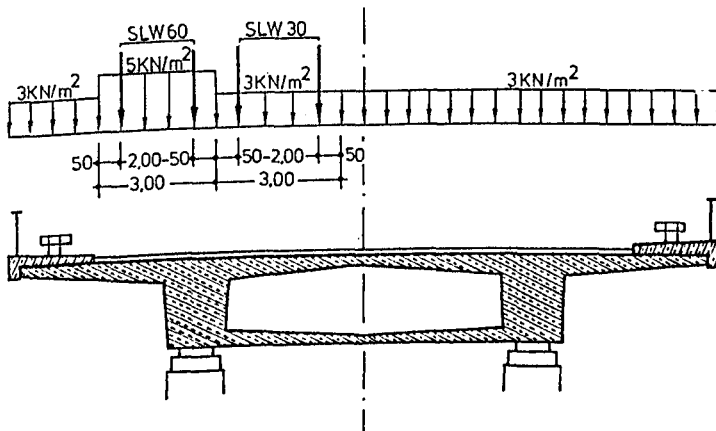
Die Verkehrslasten für die Brücke ergeben sich aus den anzusetzenden Brückenklassen. Im Bundesfernstraßenbau ist die Regelklasse 60/30 für die Bemessung der Bauwerke maßgebend. Die Verkehrsregellasten sind für die Ermittlung der Schnittgrößen des Bauwerks in der jeweils ungünstigsten Stellung anzusetzen. Die Brückenfläche ist dabei aufzuteilen in eine Haupt- und eine Nebenspur, unmittelbar nebeneinanderliegend, die eine Breite von jeweils 3.00 m haben und außerhalb dieser Spuren liegende Flächen der Fahrbahn bestehend aus Geh- und Radwegen, Schrammbordstreifen sowie erhöhten oder baulich abgegrenzten Mittelstreifen (Bild 4.17, unten).

Auf jeder Brücke ist unabhängig von der Anzahl der Fahrspuren und dem Vorhandensein eines Mittelstreifens nur eine Hauptspur und eine Nebenspur anzunehmen. Die Hauptspur ist an ungünstigster Stelle mit dem Regelfahrzeug zu belasten.

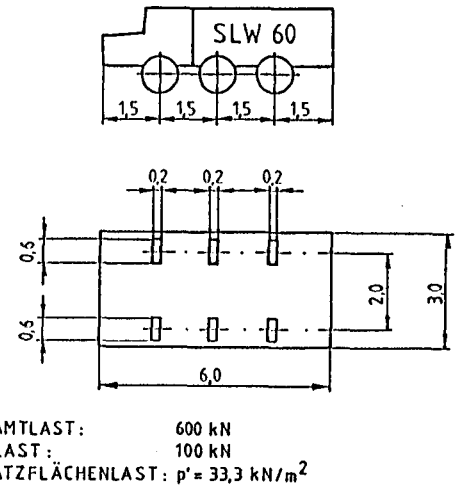
Bei der Brückenklasse 60/30 steht in der Hauptspur der Schwerlastwagen (SLW 60) mit einer Gesamtlast von 600 kN, die über sechs Räder mit einem Achsabstand von 1.50 m und einem Radabstand von 2.00 m auf die Brückenfläche übertragen wird

Lastannahmen für Straßenbrücken

BRÜCKENKLASSE 60/30



SCHWERLASTWAGEN (SLW)



AUFTEILUNG DER FAHRBAHNPLATTE GEM. DIN 1072

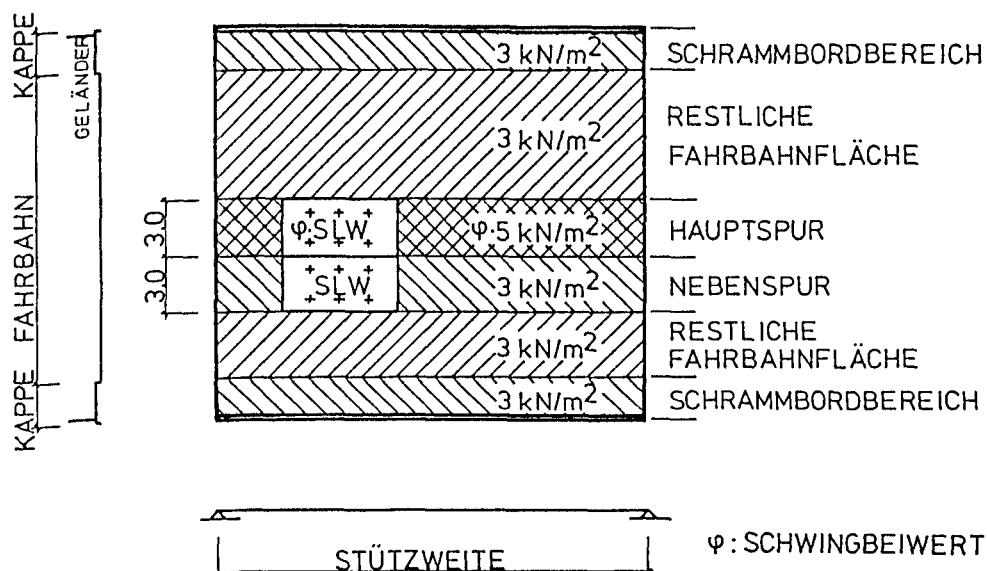


Bild 4.17 Auszug aus den Lastannahmen für Straßenbrücken
und Aufteilung der Fahrbahnplatte gem. DIN 1072

(Bild 4.17). Von diesem Schwerlastwagen wird eine Brückenfläche von 3.00 x 6.00 m bedeckt. Vor und hinter diesem Regelfahrzeug ist eine Flächenlast von $p = 5.00 \text{ KN/m}^2$ anzuordnen.

Die Brücken erfahren durch die Verkehrslasten eine dynamische Beanspruchung. Da aber die wirklich auftretende Schwingwirkung von einer Vielzahl von Faktoren abhängt, die nicht ohne weiteres zu erfassen sind, wird für die Schnittgrößenermittlung eine statische Beanspruchung des Tragwerks aus Verkehrslasten angesetzt; jedoch sind die Verkehrslasten der Hauptspur mit einem Schwingbeiwert zu multiplizieren, der abhängig von der Stützweite zwischen 1.00 und 1.40 liegt. Bei sehr kurzen Stützweiten ergibt sich daraus eine Erhöhung der Hauptspurregellasten um 40 %. In der Nebenspur ist neben dem auf der Hauptspur aufgestellten Regelfahrzeug ein SLW 30 anzuordnen. Vor und hinter dem SLW ist eine Flächenlast von $p = 3.00 \text{ KN/m}^2$ anzusetzen. Für die Untersuchung des Haupttragwerks der Brücke sind außerhalb dieser Spur liegende Fahrbahnflächen jeweils mit einer Flächenlast $p = 3.00 \text{ KN/m}^2$ zu beaufschlagen.

Weitere Lasten zur rechnerischen Ermittlung der ungünstigsten Schnittgrößen von Einzelbauteilen wie Kragarm- und Fahrbahnplatten sind nicht Gegenstand dieser Parameterstudie und sollen deshalb nicht weiter erläutert werden.

Zur Abdeckung der o. g. Belastung wurden fünf Einheitslastfälle entwickelt, mit denen alle in Kapitel 4.4.3 festgelegten Geometrievariationen untersucht wurden. Die fünf Lastfälle sind in Bild 4.18 dargestellt und dienen zur Abdeckung folgender Lasten:

- Lastfall A, Eigengewicht des Brückenquerschnitts (ohne Zusatzeigenlasten)
- Lastfall B, Linienlast aus der auf jeder Brücke anzuordnenden Hauptspur bzw. in Kombination mit Lasttyp D zur Ermittlung gleichmäßig verteilter Brückenlasten. Ggf.

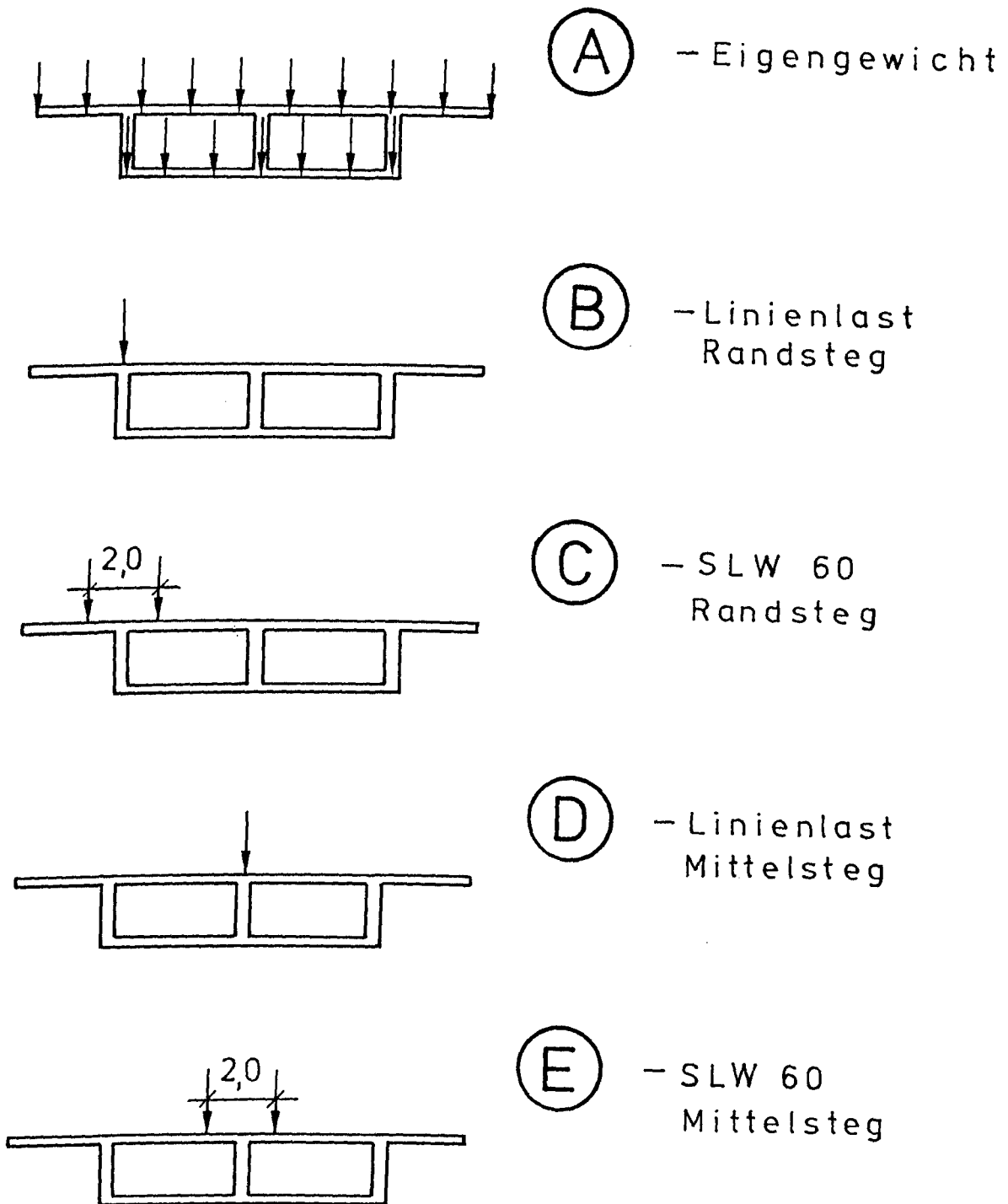


Bild 4.18 Untersuchte Einheitslastfälle zur Abdeckung der
in DIN 1072 geforderten vertikalen Belastungen

können die Lasttypen B und D auch zur Untersuchung von Brückenbelastungen mit Sonderfahrzeugen verwendet werden, bei denen meist viele Achsen in einem engen Abstand über fast die gesamte Stützweite gehen, so daß sie als Linienlast idealisiert werden können.

- Lastfall C und E dienen zur Abdeckung des gemäß DIN 1075 geforderten Schwerlastwagens. Bei diesen Berechnungen wurde der SLW 60, das größte Schwerlastfahrzeug gemäß Brückenklasse 60, eingesetzt. Um den Wert dieser Einheitslastfälle zu erhalten und auch die Berechnungen für andere Brückenklassen zu ermöglichen, wurde auf eine Multiplikation des SLW 60 mit dem Schwingbeiwert verzichtet. Der Schwingbeiwert ist im elastischen Zustand eine konstante Größe, die auch im Anschluß an die Berechnung durch Berücksichtigung als Lastfallfaktor mit den Ergebnissen multipliziert werden kann und sofort auf die endgültige Lösung führt.

Den Lastfall A (Eigengewicht) berechnet das Programm SAP V automatisch, wenn man das Raumgewicht des Baustoffs vorgibt. Das Programm ermittelt sich dann das Gewicht aus den vorhandenen Elementdicken, -höhen und -längen. Hierbei ist auf eine Besonderheit zu achten. Wie in Bild 4.19 dargestellt, ergibt sich - durch die volumenmäßige Ausdehnung der Elemente über die Systemlinien und ihre Verbindung an den Knotenpunkten - an den Übergangsstellen der Stege zu den Fahrbahn- bzw. Bodenplatten teilweise zuviel Querschnittsfläche, die sich nicht automatisch herauskondensiert. Um diese Diskrepanz auszugleichen und die für die Untersuchung der Querverteilung maßgebenden Biege- und Torsionssteifigkeiten der Elemente zu erhalten, wurde für die Außen- und Innenstege mit einem abgeminderten Raumgewicht γ' gegenüber dem tatsächlichen Raumgewicht von $\gamma = 25 \text{ KN/m}^3$ gerechnet. Die abgeminderten Raumgewichte sind in Abhängigkeit von der Kasten geometrie in Tab. 4.1 dargestellt.

Die Linienlasten B und D ($q(y) = 10 \text{ KN/m}$) wurden zu Knotenlasten umgerechnet, und es konnten somit weitere Maßnahmen eingegeben werden.

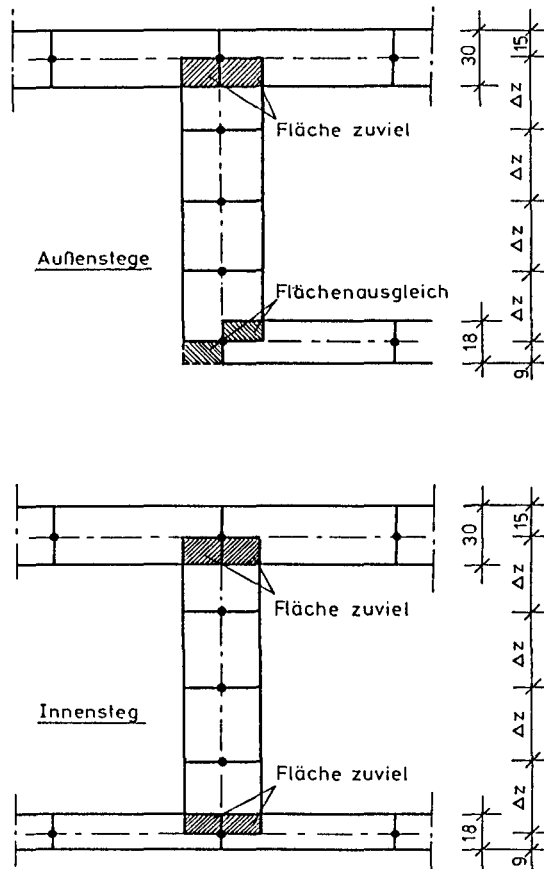


Bild 4.19 Fehlflächenausgleich im Bereich der Stege

| R A U M G E W I C H T E | | | | |
|--|------------------|----------|----------|----------|
| | Kastenhöhe h [m] | | | |
| | 1.60 | 2.00 | 4.00 | 6.00 |
| Stegdicke ts [cm] | 42 | 42 | 42 | 42 |
| Dicke d. Fahrbahnpl. to [cm] | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Dicke der Bodenpl. tu [cm] | 18 | 18 | 18 | 18 |
| γ' Randsteg [kN/m ³] | 22.65625 | 23.12500 | 24.06250 | 24.37500 |
| γ' Mittelsteg [kN/m ³] | 21.25000 | 22.00000 | 23.50000 | 24.00000 |

Tab. 4.1 Reduzierte Raumgewichte der Stege zum Ausgleich der Fehlflächen

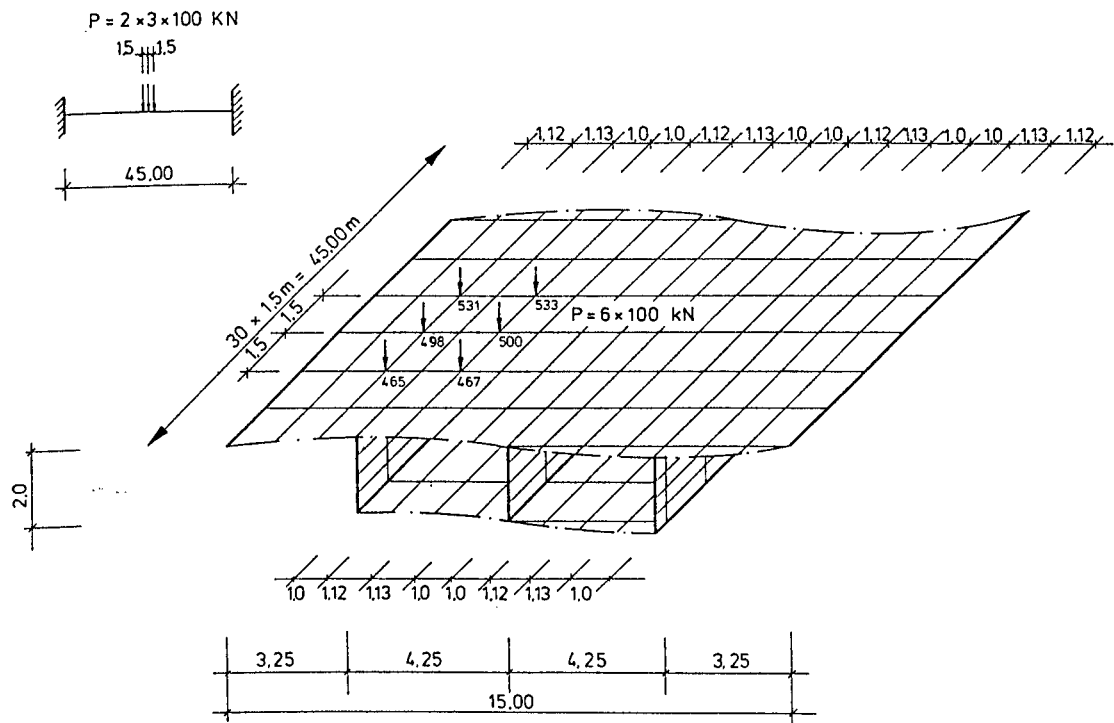


Bild 4.20 SLW - Radlasten in Feldmitte auf dem Randsteg des diskretisierten Ausgangsquerschnitts

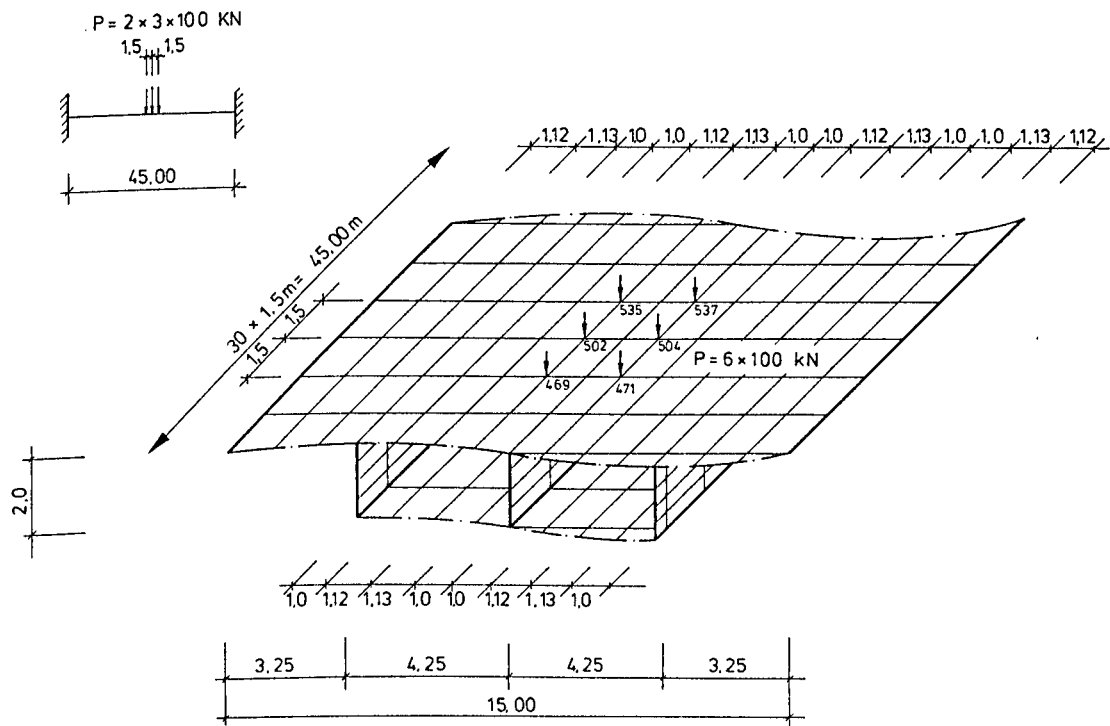


Bild 4.21 SLW - Radlasten in Feldmitte auf dem Mittelsteg des diskretisierten Ausgangsquerschnitts

Durch die vorgewählte Geometrie der Knotenpunkte war es möglich, die Lasttypen C und E (SLW 60) beim Hohlkasten mit einer Stützweite von 45 m auf dem Rand- bzw. Mittelsteg ohne Umrechnung direkt als Knotenlasten in den Datensatz einzugeben. Beim Kastenträger mit 30 m bzw. 60 m mit Stegelementlängen von 1.00 m bis 2.50 m wurden die Radlasten nach dem Hebelgesetz auf die benachbarten Knoten in Brückenlängsrichtung verteilt. Wegen der Elementbreite von 1.00 m war eine Aufteilung der Lasten in Brückenquerrichtung nicht erforderlich.

4.5 Parameterstudie der Querschnittsformen und Lastfälle

Die Querschnittswerte der untersuchten Kastengeometrie sind in Tabelle 4.2 zusammengefaßt. Die Biegeschlankheit wurde dabei für den idealisierten Querschnitt nach Zustand I ermittelt. Das Torsionsträgheitsmoment wurde mit Hilfe der Bredt'schen Formel für den äußeren umlaufenden Kastenquerschnitt ermittelt.

Feste Parameter bei der Querschnittsweiterentwicklung waren die Stegdicke $t_s = 42$ cm, die Fahrbahnplattendicke $t_o = 30$ cm, die Bodenplatte $t_u = 18$ cm, die Kastenbreite $b = 8.50$ m und die Baustoffkennwerte. Wie in Bild 2.6 dargestellt, handelt es sich bei den untersuchten Geometrien der Hohlkastenquerschnitte beim zweizelligen Hohlkasten im Mittelsteg nur um Sekundärschubspannungen, so daß auf dessen genauere Berücksichtigung bei der Ermittlung des Torsionsträgheitsmoments verzichtet werden kann, da die Berücksichtigung des Mittelstegs die Torsionssteifigkeit praktisch nicht erhöht.

Die sich aus der Geometrie ergebenden Biegesteifigkeiten und Torsionssteifigkeiten sind in Abhängigkeit von der Kastenform in Bild 4.22 graphisch dargestellt.

| Q U E R S C H N I T T S W E R T E | | | | | |
|-----------------------------------|------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------|
| h/b [-] | h [m] | A_b [m ²] | I_b [m ⁴] | I_t [m ⁴] | $K=EI_b/GI_t$ [-] |
| 0.188 | 1.600 | 7.819 | 3.5557 | 8.8950 | 0.9708 |
| 0.235 | 2.000 | 8.323 | 5.7573 | 13.5873 | 1.0291 |
| 0.471 | 4.000 | 10.843 | 27.1057 | 48.8779 | 1.3468 |
| 0.706 | 6.000 | 13.363 | 69.6980 | 99.9165 | 1.6941 |

Feste Parameter : Kastenbreite $b = 8.50 \text{ m}$
 Baustoff : B35
 $E = 34\,000 \text{ MN/m}^2$
 $G = 14\,000 \text{ MN/m}^2$

Tab 4.2 Querschnittswerte der untersuchten Kasten-
 geometrien

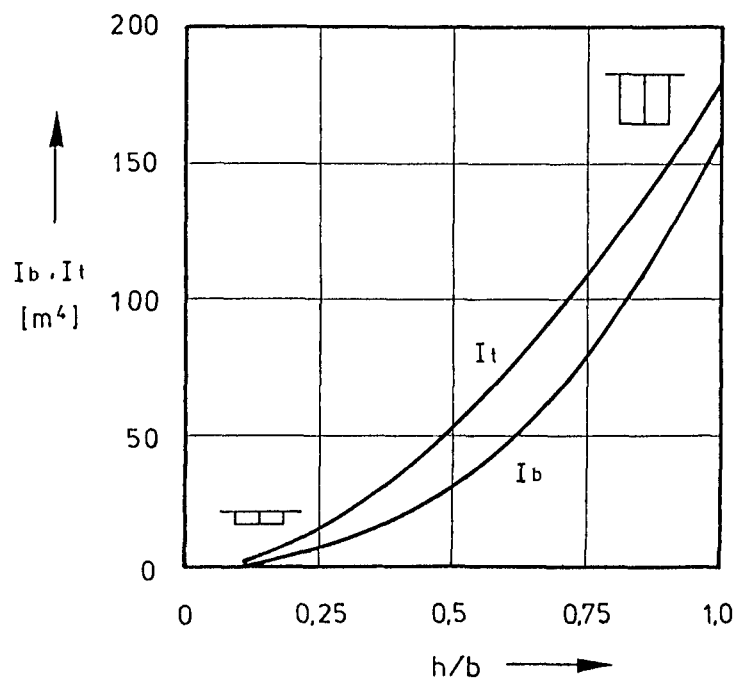


Bild 4.22 Verlauf der Biege- und Torsionssteifigkeit von
 zweizelligen Hohlkästen mit konstanter Kasten-
 breite und konstanten Elementdicken

Aufgrund der vorgegebenen Randbedingungen, die sowohl die verkehrstechnischen Belange (Überführung eines dreispurigen Autobahnquerschnitts) als auch konstruktiv erforderliche Belange, wie Berücksichtigung wirtschaftlicher Steg- und Plattendicken ergibt sich eine Vielzahl fester und variabler Parameter, die entweder die Geometrie oder die Lasten berücksichtigen. Als variable Parameter ergeben sich bei dieser Studie folgende lastabhängige bzw. geometrieabhängige Größen:

- Lastfälle A bis E
- Kastenformparameter b/h
- Grundrißschlankheit b/L
- Biegeschlankheit h/L bzw. d/L
- Verhältnis der Biegesteifigkeit zur Torsionssteifigkeit $K = EI_b/GI_t$

Als feste Parameter bei dieser Studie ergaben sich aufgrund konstruktiver Anforderungen bzw. durch Voruntersuchungen (s. Kapitel 5.4) eliminierte Parameter folgende Größen:

- Querschnittsgestalt in der X-Z-Ebene
- Statisches Grundsystem des eingespannten Stabs
- Direktauflagerung aller drei Stege an den Feldenden
- Materialeigenschaft (Beton B 35)
- Äußere Kastenbreite $b = 8.50 \text{ m}$
- Stegbreite $t_s = 0.42 \text{ m}$
- Dicke der oberen und unteren Platte $d = 0.30 \text{ m}$ bzw. 0.18 m

Der Verlauf des Verhältnisses der Biege- zur Torsionssteifigkeit in Abhängigkeit vom Kastenformparameter ist in Bild 4.23 dargestellt. Die betrachteten Querschnittswerte hatten die baupraktisch üblichen Steifigkeitszahlen von $K = 0.9$ bis 1.7 .

Durch die festgehaltene und konstante Fahrbahnplattenbreite und daraus resultierend die äußere Kastenbreite ergibt sich für die untersuchten Querschnitte kein kontinuierliches Anwachsen der Steifigkeitswerte. Die numerische Auflistung der variablen Kastenformparameter erfolgt in Tab. 4.3. Hieraus läßt sich auch erkennen, welche Geometrien den relevanten Schlankheitsbereich von mehrfeldrigen vorgespannten Konstruktionen, d. h. $d/L = 1/10$ bis $d/L = 1/30$ bzw. $1/35$, verlassen. Der für diese Parameterstudie gewählte Ausgangsquerschnitt der Talbrücke Kattenohl /44/ hat eine Schlankheit von $d/L = 45/2.20 = 1/20.5$ und lag damit zum damaligen Zeitpunkt im üblichen Schlankheitsbereich von $d/L = 1/18$ bis $1/23$. Aufgrund der Erfahrungen mit vorgespannten Konstruktionen geht man z. z. aber immer mehr von sehr schlanken Brückenkonstruktionen ab. Im Rahmen der Neubaustrecke der Deutschen Bundesbahn sind Schlankheiten von $d/L = 1/10$ durchaus üblich, womit die hier gemachten Parameterstudien auch für die in Zukunft zu bauenden Brückenquerschnitte neue Erkenntnisse liefern.

Aus der gewählten Diskretisierung der Kastengeometrie und der Lasten ergaben sich 12 unterschiedliche Geometrien mit jeweils 13 zugehörigen Lastfällen. Bild 4.24 zeigt die Übersicht der untersuchten Systeme und Belastungen.

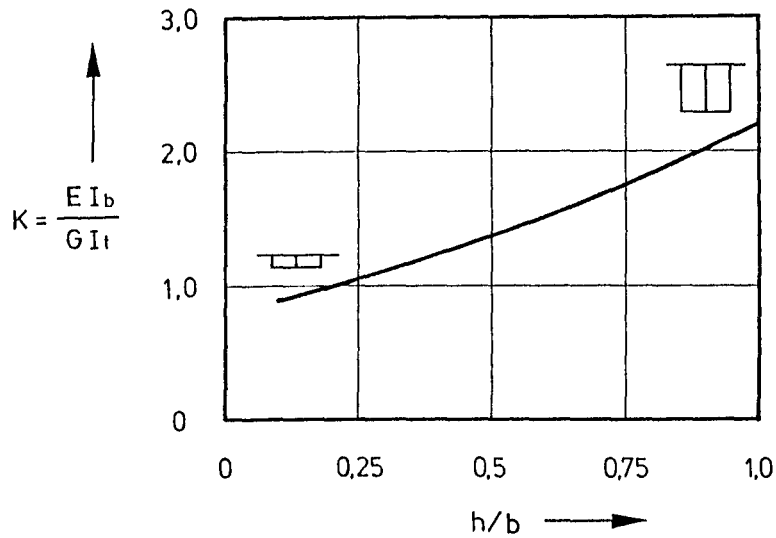


Bild 4.23 Verlauf der Steifigkeitszahl der untersuchten Hohlkastenquerschnitte

| Stütz- weite L [m] | Kasten- höhe h [m] | Gesamt- höhe d [m] | Kastenformparameter | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|------------|------------|------------|
| | | | b/h [-] | b/L [-] | h/L [-] | d/L [-] |
| 30.0 | 1.60 | 1.84 | 5.31 | 0.28333 | 1/18.75 | 1/16.30 |
| | 2.00 | 2.24 | 4.25 | 0.28333 | 1/15.00 | 1/13.39 |
| | 4.00 | 4.24 | 2.13 | 0.28333 | 1/7.00 | 1/7.08 |
| | 6.00 | 6.24 | 1.42 | 0.28333 | 1/5.00 | 1/4.81 |
| 45.0 | 1.60 | 1.84 | 5.31 | 0.18889 | 1/28.13 | 1/24.46 |
| | 2.00 | 2.24 | 4.25 | 0.18889 | 1/22.50 | 1/20.09 |
| | 4.00 | 4.24 | 2.13 | 0.18889 | 1/11.25 | 1/10.61 |
| | 6.00 | 6.24 | 1.42 | 0.18889 | 1/7.50 | 1/7.21 |
| 60.0 | 1.60 | 1.84 | 5.31 | 0.14167 | 1/37.50 | 1/32.61 |
| | 2.00 | 2.24 | 4.25 | 0.14167 | 1/30.00 | 1/26.79 |
| | 4.00 | 4.24 | 2.13 | 0.14167 | 1/15.00 | 1/14.15 |
| | 6.00 | 6.24 | 1.42 | 0.14167 | 1/10.00 | 1/9.62 |

Fester Parameter : Kastenbreite b = 8.50 m

Tab. 4.3 Kastenformparameter der untersuchten Geometrien

| LASTTYP | | L = 30,00 m | | | | L = 45,00 m | | | | L = 60,00 m | | | | |
|---------|------|--------------------|------|------|------|-------------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|
| | | h [m] | | | | h [m] | | | | h [m] | | | | |
| | | 1,60 | 2,00 | 4,00 | 6,00 | 1,60 | 2,00 | 4,00 | 6,00 | 1,60 | 2,00 | 4,00 | 6,00 | |
| A | | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | |
| | | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | |
| | | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | var. | var. | var. | var. | |
| B | | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | |
| | | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | |
| | | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | var. | var. | var. | var. | |
| C | | $a = 0,0\bar{6} L$ | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | |
| | | | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 |
| | | | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | var. | var. | var. | var. |
| | | $a = 0,1 L$ | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 |
| | | | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 |
| | | | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | var. | var. | var. | var. |
| | | $a = 0,2 L$ | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 |
| | | | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 |
| | | | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | var. | var. | var. | var. |
| | | $a = 0,3 L$ | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 |
| | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | | |
| | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | var. | var. | var. | var. | | |
| D | | $a = 0,5 L$ | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | |
| | | | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 |
| | | | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | var. | var. | var. | var. |
| E | | $a = 0,0\bar{6} L$ | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | |
| | | | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 |
| | | | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | var. | var. | var. | var. |
| | | $a = 0,1 L$ | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 |
| | | | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 |
| | | | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | var. | var. | var. | var. |
| | | $a = 0,2 L$ | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 |
| | | | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 |
| | | | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | var. | var. | var. | var. |
| | | $a = 0,3 L$ | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 |
| | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | | |
| | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | var. | var. | var. | var. | | |
| E | | $a = 0,5 L$ | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | 1020 | |
| | | | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 0,40 | 0,50 | 1,00 | 1,50 |
| | | | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | var. | var. | var. | var. |

1. Zahl = Anzahl der Platten- und Schalenelemente
2. Zahl = Höhe der Stegelemente
3. Zahl = Länge der Stegelemente

Bild 4.24 Zusammenstellung der untersuchten Systeme und zugehörige Belastungen

5. AUSWERTUNG

5.1 Allgemeines

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Parameterstudie zusammengefaßt dargestellt. Hierzu sind noch einige Ergänzungen notwendig, um von vornherein mit den Ergebnissen richtig und sinnvoll arbeiten zu können. Die Querverteilung von Lasten zeigt an, ob und in welchem Maße Nachbarbereiche partiell belasteter Tragwerke in der Lage sind, Lasten mitzutragen. Bezogen auf Brückenüberbauten bedeutet dies: Kann ein Plattenbalken- oder Hohlkastenquerschnitt alle Stege bei symmetrisch oder unsymmetrisch angreifenden Lasten gleichmäßig zum Lastabtrag in Brückenlängsrichtung heranziehen und der Lastverteilungsfaktor α (= Querverteilungszahl) nach folgender Gleichung (5.1) bestimmt werden:

$$\alpha = \frac{\int_a^b f(p) dy}{n} \quad (5.1)$$

n = Anzahl der Hauptträger bzw. Stege

Daß diese Gleichung für unsymmetrische Laststellung nicht ausreichend ist, wird in der Literatur ausreichend erläutert und beim Entwurf sowie bei der Bemessung von Brücken beachtet. Quantitative Aussagen, in welchem Maße Hauptträger unter symmetrischen Lasten ungleichmäßig beansprucht werden, wenn ihre Anzahl $n \geq 3$ wird, wurden bisher nicht gemacht.

Grundsätzlich ist beim ein- oder mehrzelligen Hohlkastenquerschnitt unter sonst gleichen Bedingungen die Lastverteilung günstiger als beim Plattenbalkenquerschnitt. Während bei einem Bauwerk mit Plattenbalkenquerschnitt die Übertragung eines Lastanteils vom unmittelbar betroffenen Hauptträger auf die benachbarten Träger nur mit einer erheblichen Biegebeanspruchung der Platte möglich ist, wird beim Hohlkasten ein

beträchtlicher Anteil über den Schubfluß beim geschlossenen Profil weitergeleitet (Bild 2.6), so daß die Biegebeanspruchung des Kastens als Querrahmen stark vermindert wird.

Die quantitative Differenzierung der Lastverteilung beim Vergleich der Lastfälle ist bei Bauwerken, die sich im Zustand I (ungerissener Beton) befinden, unabhängig von der Lastgröße. Wird die Last linear gesteigert, wachsen auch die Kraftgrößen proportional zur Laststeigerung, sofern keine Effekte aus Theorie 2. Ordnung (Gleichgewicht am verformten System) zum Tragen kommen. Unter den genannten Voraussetzungen bleibt die absolute Größe der Querverteilung bei Laststeigerung gleich, so daß der Lastverteilungsfaktor α eine Funktion der Lasteinleitung, der Laststellung und des Lastfalls, wie in Bild 5.1 und Gleichung 5.2 dargestellt ist, wird.

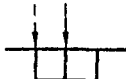



| Lastfall | LF Linienlast | LF SLW |
|----------------|---|---|
| Lasteinleitung |  |  |
| Laststellung |  |  |

Bild 5.1 Festlegung der Definitionen

$$\alpha = f(\text{Ort, Typ}) \quad (5.2)$$

Auf die Berücksichtigung der Querverteilung bei Brückenüberbauten wird häufig auch verzichtet mit dem Hinweis darauf, daß der prozentuale Anteil der zu verteilenden Verkehrslasten - betrachtet an der Gesamtbelastung des Bauwerks aus Eigengewicht und Verkehrslast - relativ gering ist. In Bild 5.2 ist deshalb einmal für einen repräsentativen Querschnitt - vergleichbar mit dem Ausgangsquerschnitt - mit einer Biege-

schlankheit von $L/h = 20$ und konstanten Konstruktionselementdicken eine Gegenüberstellung der Biegemomente erzeugenden Lastanteile für die Stützweiten von 30, 45 und 60 m zusammengestellt worden.

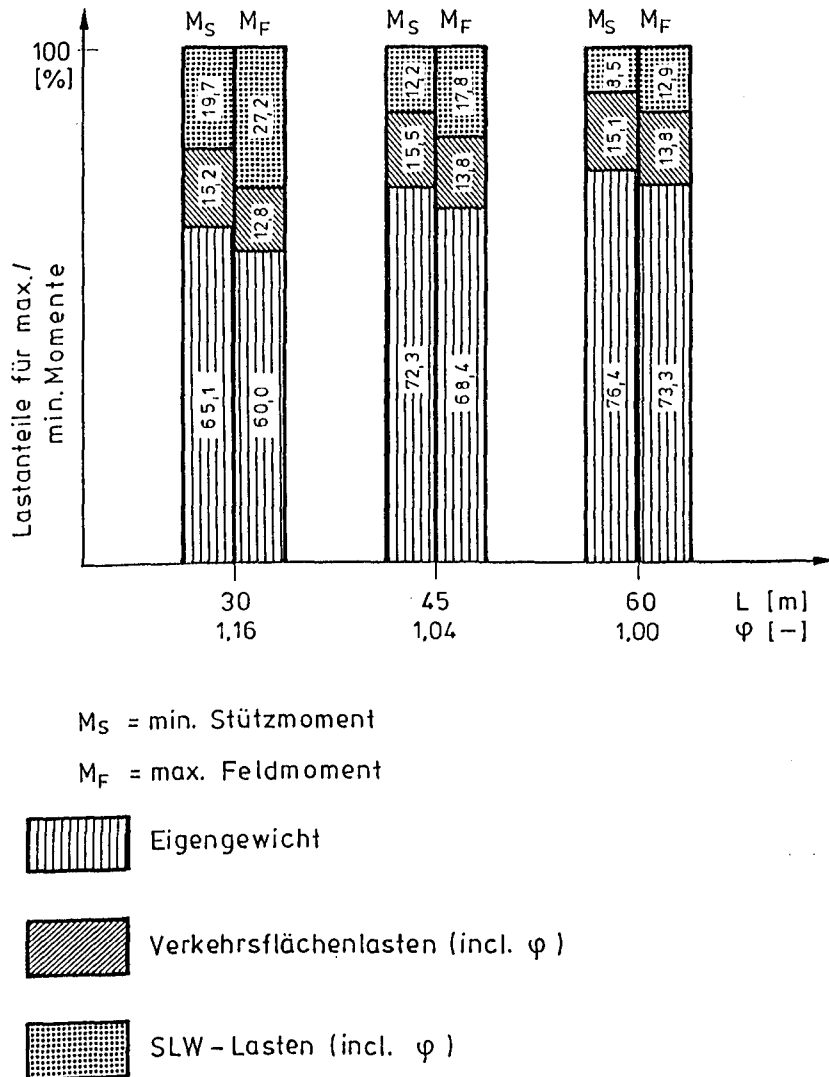


Bild 5.2 Lastanteile der Feld- und Stützmomente in Prozenten aus vertikalen Belastungen für die untersuchten Stützweiten

Die Belastung setzt sich aus den Eigengewichtslasten, den gleichmäßig verteilten Flächenlasten aus Haupt- und Nebenspur sowie den SLW-Beanspruchungen des Querschnitts mit zwei Regelfahrzeugen (SLW 60 und SLW 30) für die Brückenklasse 60/30 zusammen. Angegeben werden jeweils pro Stützweite die Lastanteile, die die maximalen Feldmomente und minimalen Stützmomente für das Innenfeld eines Durchlaufträgers ergaben. Die Ermittlung dieser Anteile erfolgte durch Rückrechnung aus den

Absolutwerten der Momentenanteile aus den drei Einzelbeanspruchungen, deren Summe zu hundert Prozent gesetzt wurde.

Der Verkehrslastanteil beträgt dabei an der Stelle der minimalen/maximalen Momente 25 bis 30 %. Dieser Anteil wächst im Bereich der Momentennullpunkte für den Lastfall Eigengewicht ($M_g = 0$), der ungefähr bei $0.2 L$ liegt, bis 100 % an. Den Hauptanteil bilden hierbei die Momente aus den Schwerlastwagen, denn der Momentennullpunkt für die - entsprechend dem Lastfall Eigengewicht - ungefähr gleichmäßig verteilten Verkehrsflächenlasten liegt in etwa an der gleichen Stelle wie der Momentennullpunkt für den Lastfall Eigengewicht.

5.2 Verformungen und zugehörige Querverteilung

Um die unterschiedliche Belastung der drei Stege der vorliegenden Hohlkastenquerschnitte zu bestimmen, müssen Einflußgrößen festgelegt werden über die diese Auswertung erfolgen soll. Zur Ermittlung der Lastanteile pro Hohlkastensteg stehen aufgrund der Ergebnisse des SAP V-Datensatzes folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- Gegenüberstellung der vertikalen Stegdurchbiegungen
- Auswertung über die Stegspannungen

In der folgenden Auswertung wurde auf die erste Möglichkeit zurückgegriffen, da bei einer Auswertung der Spannung diese erst in einer Nachlaufrechnung von den Elementmitten auf die Randspannung hätten extrapoliert werden müssen und die Genauigkeit durch die diskreten Elemente im Bereich kleinerer Momentenbeanspruchung entsprechend kleiner und die Fehleranfälligkeit größer geworden wäre, da sich Durchbiegungen beim Weggrößenverfahren direkt ergeben und die Spannungen erst durch Multiplikation der Verformungen mit den Materialsteifigkeiten entstehen.

Die Verteilung der Belastung auf die einzelnen Stege wurde dadurch ermittelt, daß pro betrachteten Brückenquerschnitt

die Summe der vertikalen Durchbiegungen unter den drei Hauptstegen zu 100 % gesetzt wurden und anschließend über die Einzelverformung der einzelnen Stege die prozentualen Lastanteile bestimmt wurden.

$$\alpha = \frac{100 \cdot w_i}{\sum_{i=1}^3 w_i} \quad [\%] \quad (5.3)$$

Die numerische Auswertung sämtlicher SAP V-Datensätze erfolgte für alle fünf Einheitslastfälle und Kasten geometrien tabellarisch für die diskreten Punkte 0.067 L, 0.10 L, 0.20 L, 0.33 L, 0.50 L, 0.67 L, 0.80 L, 0.90 L sowie 0.933 L und ist diesem Bericht in den Anlagen beigelegt. Im auflagen nahen Bereich zwischen 0.00 L und 0.20 L wurde eine engere Teilung der Abschnitte in der Auswertung gewählt, da in diesem Abschnitt die zahlenmäßig größten Änderungen der prozentualen Lastanteile auftraten.

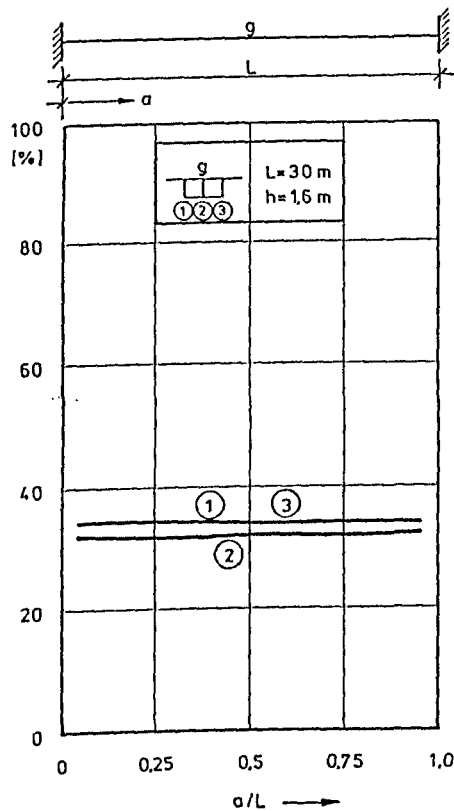
Die graphische Darstellung der aus den vertikalen Verformungen ermittelten Querverteilungen erfolgt in den Bildern 5.3 bis 5.17.

Auf eine Angabe der Querverteilung direkt über den Auflagerungen, d. h. an den Einspannstellen wurde verzichtet, da hier die Verformungen sehr klein sind. Dieser Umstand kann bei Auf- und Abrundungen zu großen Fehlern führen und ist generell für die Lastanteile der Hauptstege uninteressant, da z. B. der Schwerlastwagen für die Ermittlung des maximalen Stützmomentes nicht über der Stütze (Einspannstelle), sondern in einem gewissen Abstand vom Auflager stehen muß. Laststellungen direkt über dem Auflager sind nur für die Ermittlung der Auflagerkräfte interessant. Hier kann man dann mit genügender Genauigkeit die Auflagerkräfte mit einer Lastverteilung nach dem Hebelgesetz bestimmen. Dieses ist jedoch nicht Gegenstand der durchgeführten Untersuchungen.

In der graphischen Auswertung sind jeweils vier Nomogramme pro Bild (5.3 bis 5.17) zusammengefaßt. Hierbei wurde als konstante Größe jeweils der Lastfall und die Stützweite angenommen und über die vier Nomogramme jeweils die Trägerhöhen variiert. Diese Form der Darstellung zeigt den Einfluß der Laststellung und der Biegeschlankheit der Hauptstege auf die Querverteilung besonders deutlich.

Bei der Auswertung der Lastfälle für den Schwerlastwagen erfolgte der graphische Auftrag gleich entsprechend den statischen Erfordernissen für eine in Brückenlängsrichtung veränderliche Laststellung. Die Kurven setzen sich aus mehreren Einzellastfällen zusammen. Aber nur diese Betrachtung ist für die Untersuchung der Lastanteile interessant, da jeweils die ungünstigste Querverteilung direkt unter der Laststellung zu finden ist und sich auch hier im Feldbereich die maximalen Schnittgrößen ergeben.

Querverteilung für Lastfall — (A) Eigengewicht



Querverteilung für Lastfall — (A) Eigengewicht

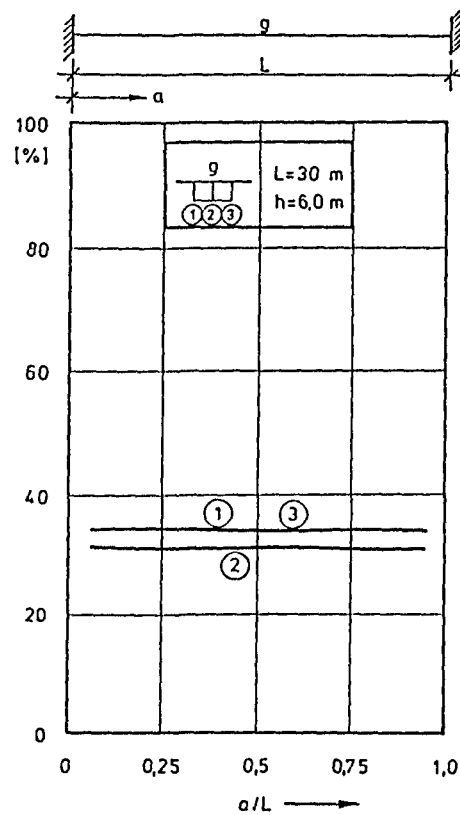
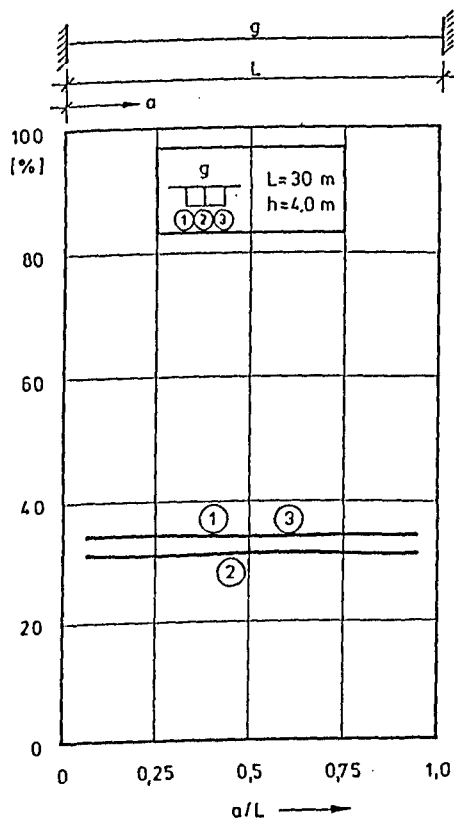
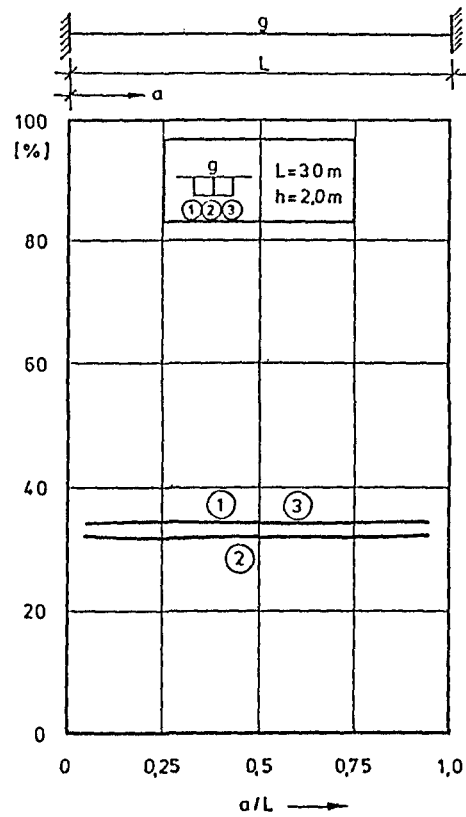
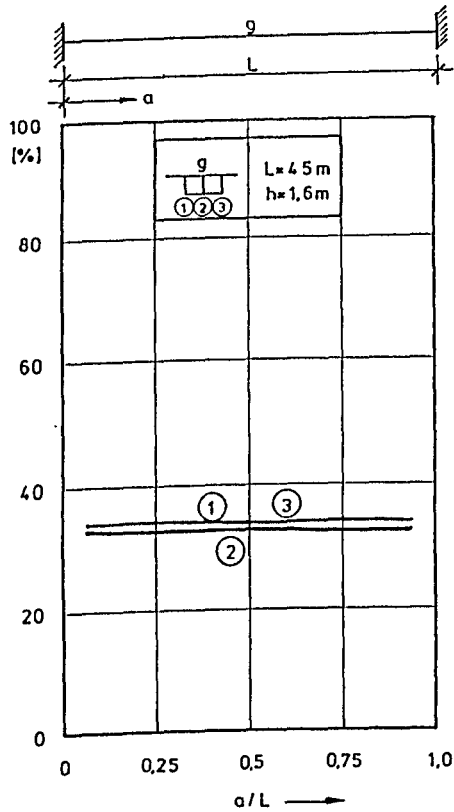


Bild 5.3 Lastanteile pro Steg für Lastfall - A - Eigengewicht; L = konstant; h = variabel

Querverteilung für Lastfall - (A) Eigengewicht



Querverteilung für Lastfall - (A) Eigengewicht

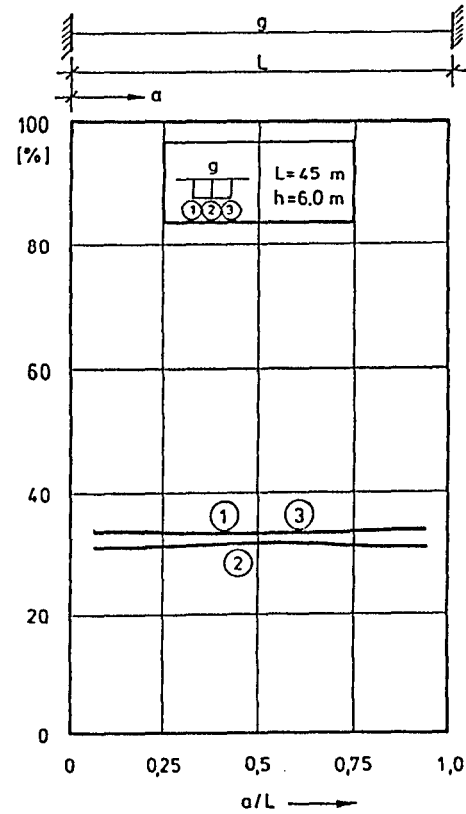
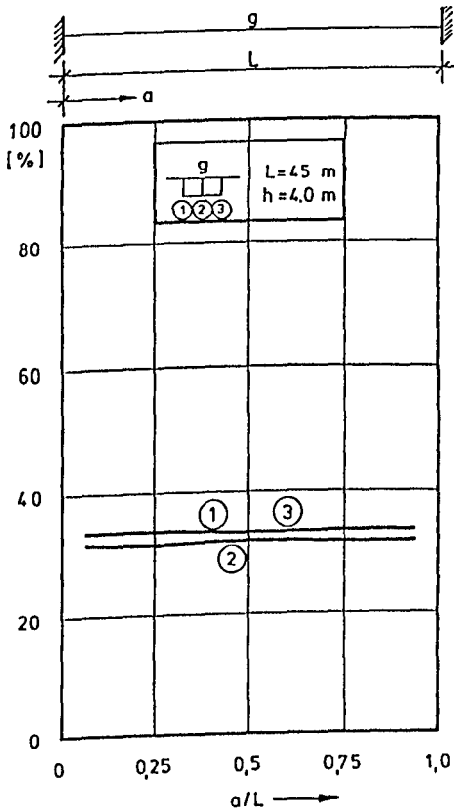
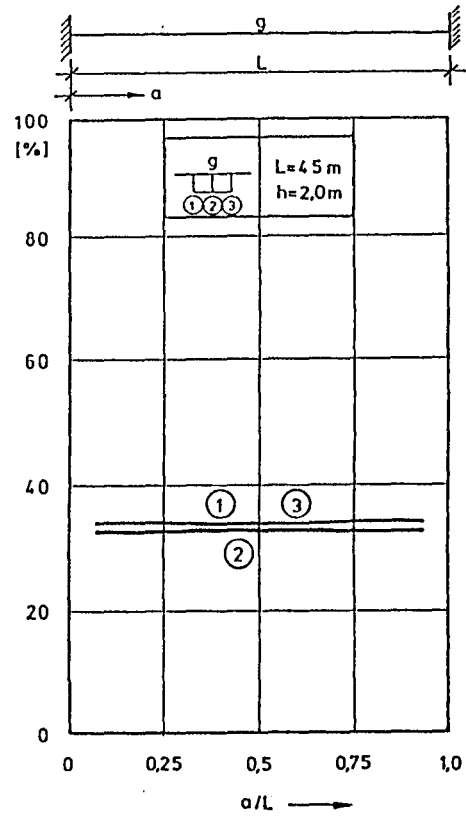
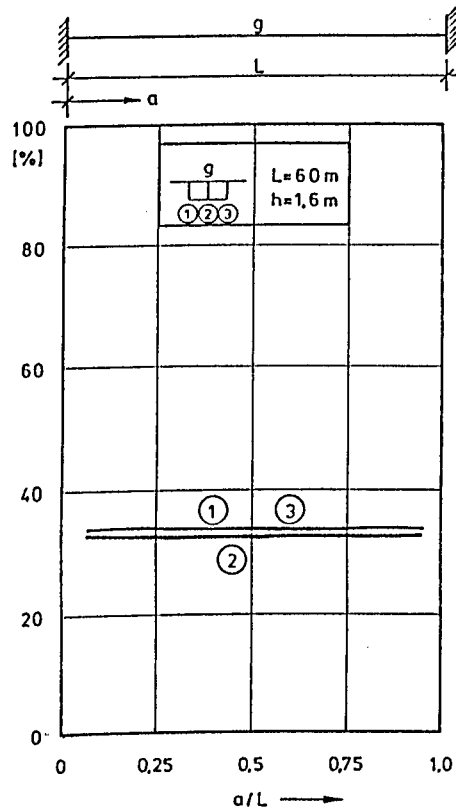


Bild 5.4 Lastanteile pro Steg für Lastfall - A - Eigengewicht; $L = \text{konstant}$; $h = \text{variabel}$

Querverteilung für Lastfall - (A) Eigengewicht



Querverteilung für Lastfall - (A) Eigengewicht

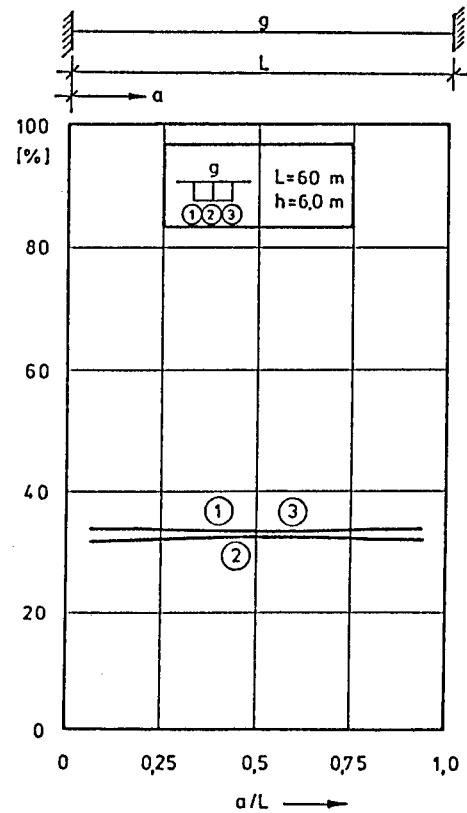
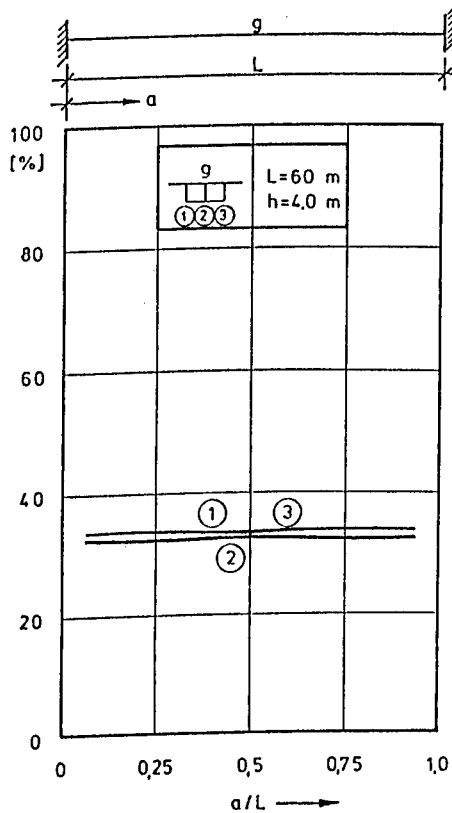
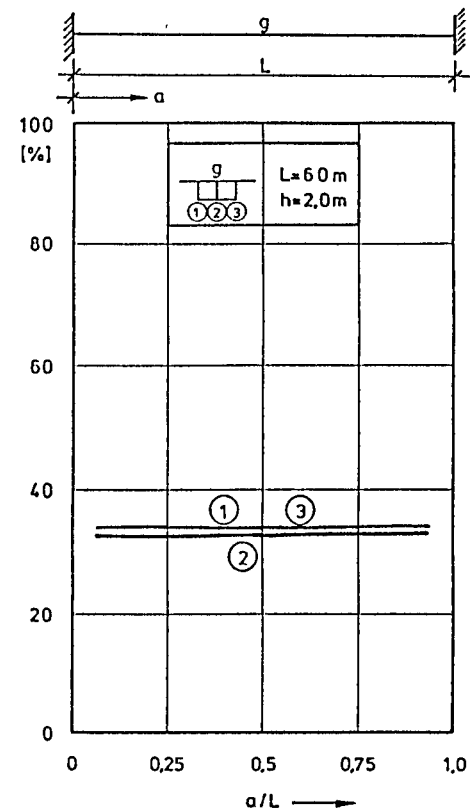


Bild 5.5 Lastanteile pro Steg für Lastfall - A - Eigengewicht; L = konstant; h = variabel

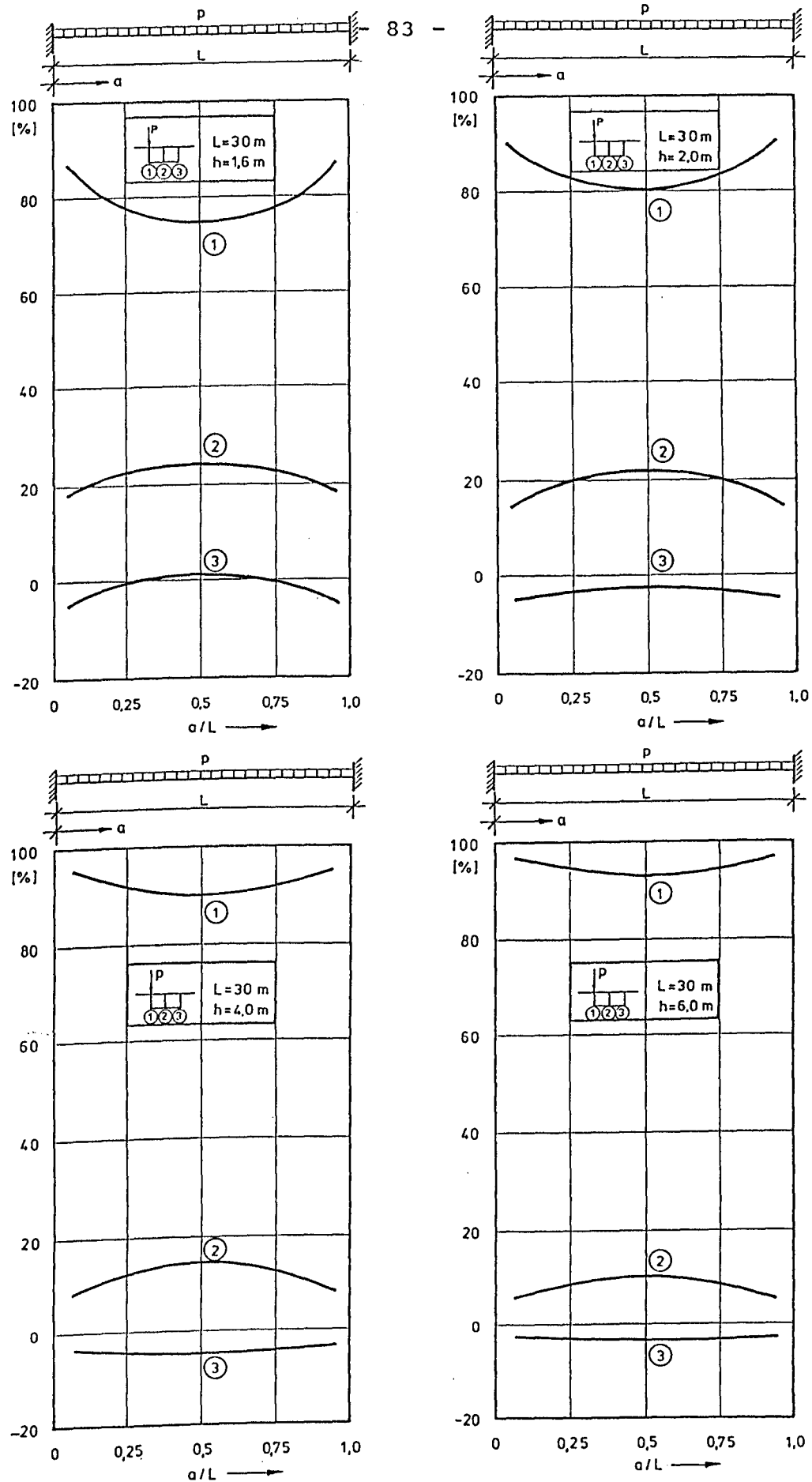


Bild 5.6 Lastanteile pro Steg für Lastfall – B –
Linienlast auf dem Randsteg; $L = \text{konst.}$; $h = \text{var.}$

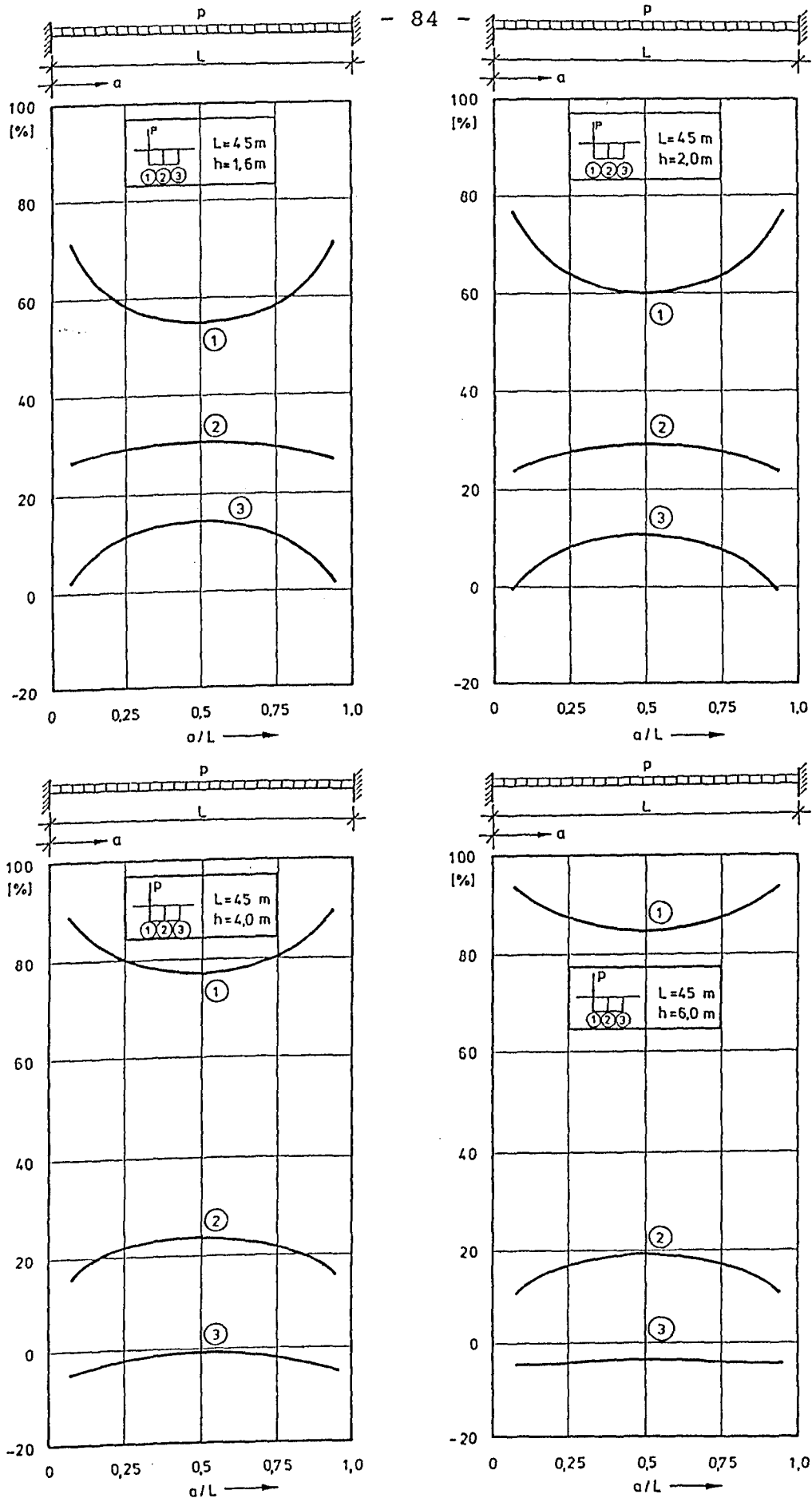


Bild 5.7 Lastanteile pro Steg für Lastfall - B -
Linienlast auf dem Randsteg; $L = \text{konst.}$; $h = \text{var.}$

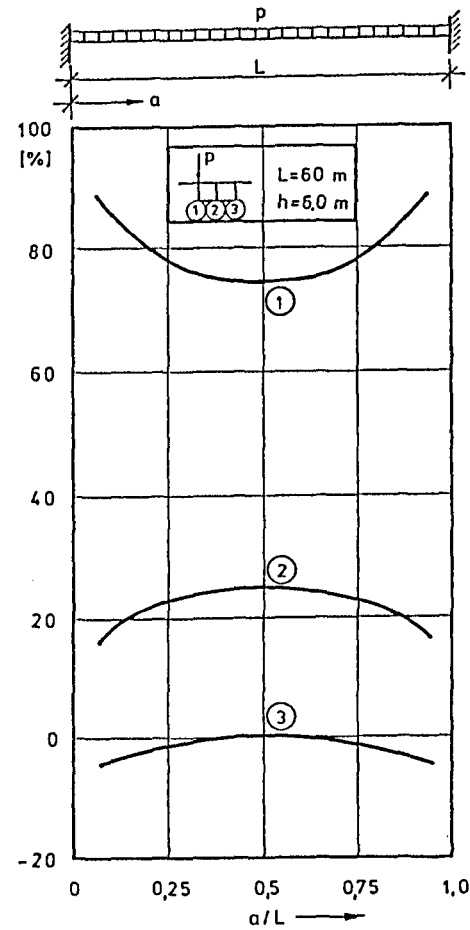
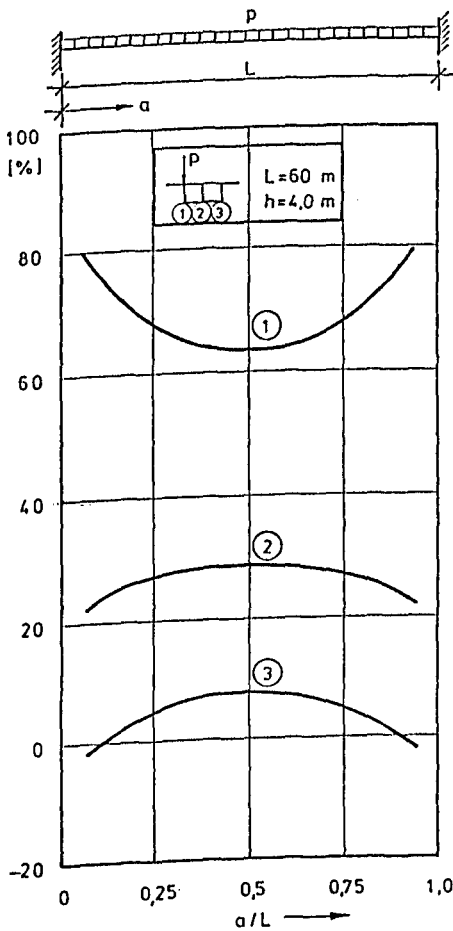
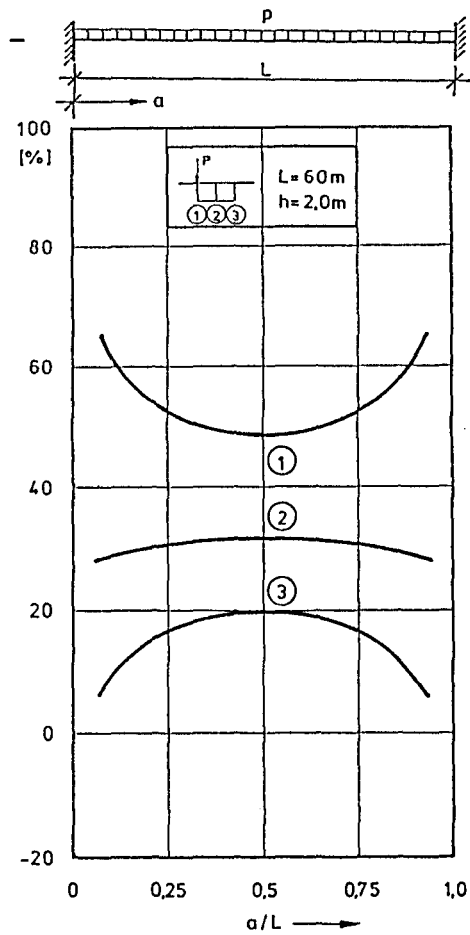
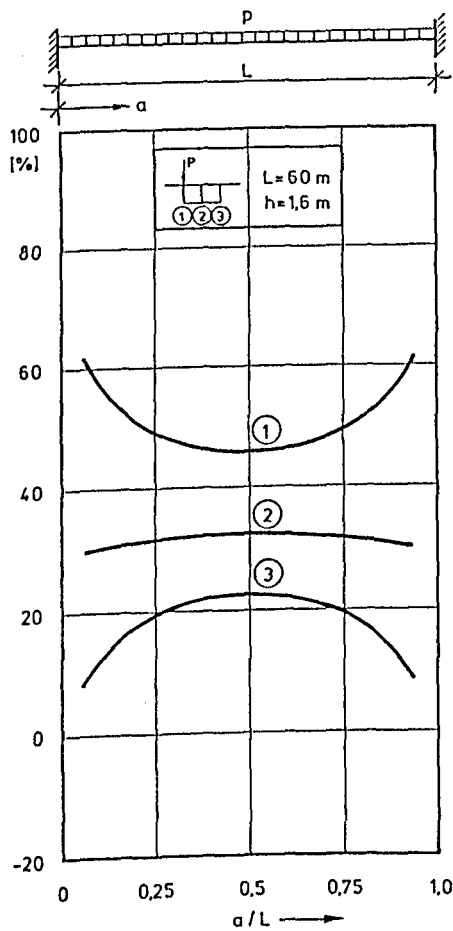


Bild 5.8 Lastanteile pro Steg für Lastfall – B –
Linienlast auf dem Randsteg; $L = \text{konst.}$; $h = \text{var.}$

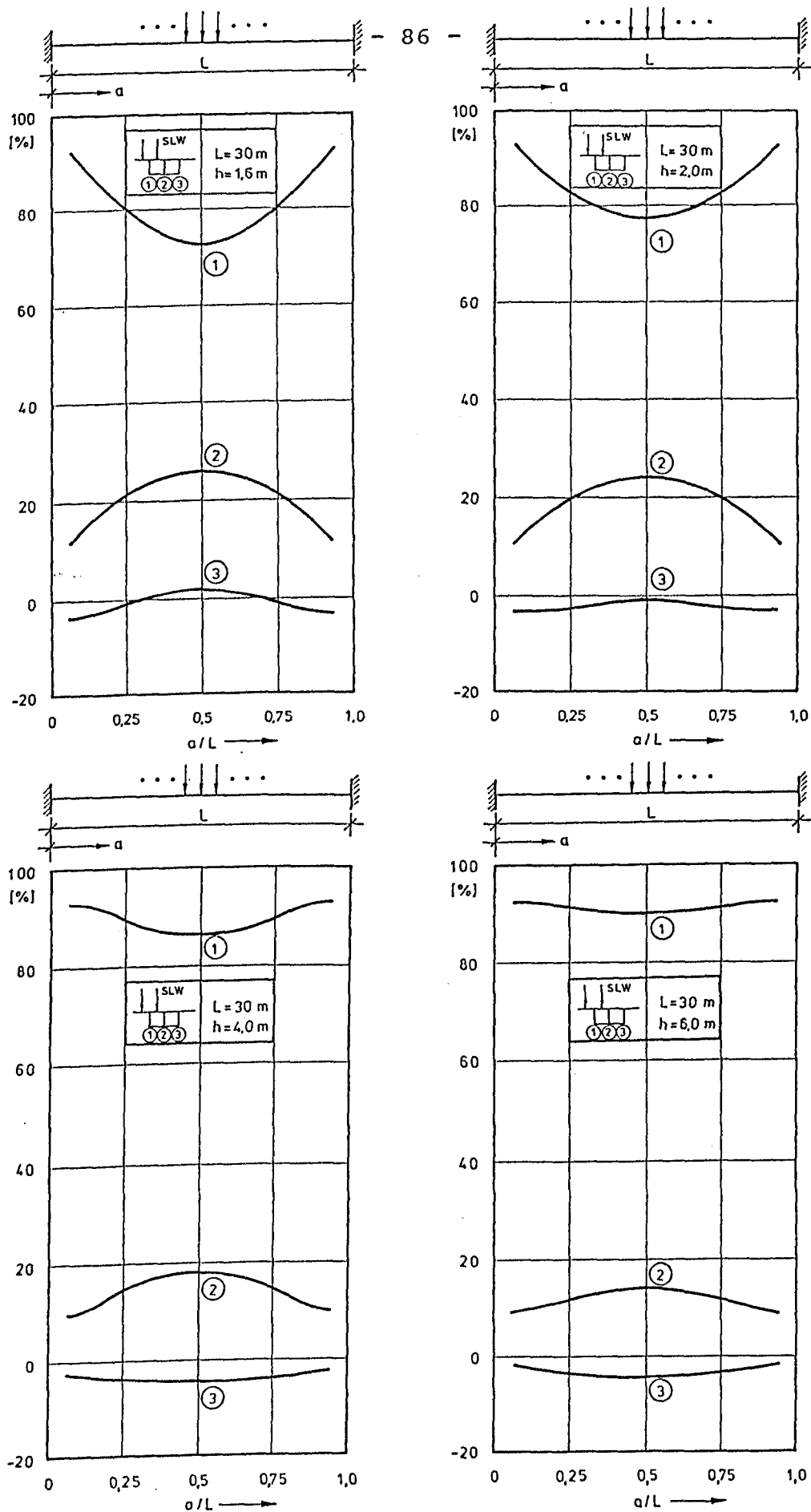


Bild 5.9 Lastanteile pro Steg für Lastfall - C -
SLW auf dem Randsteg; $L = \text{konstant}$; $h = \text{variabel}$

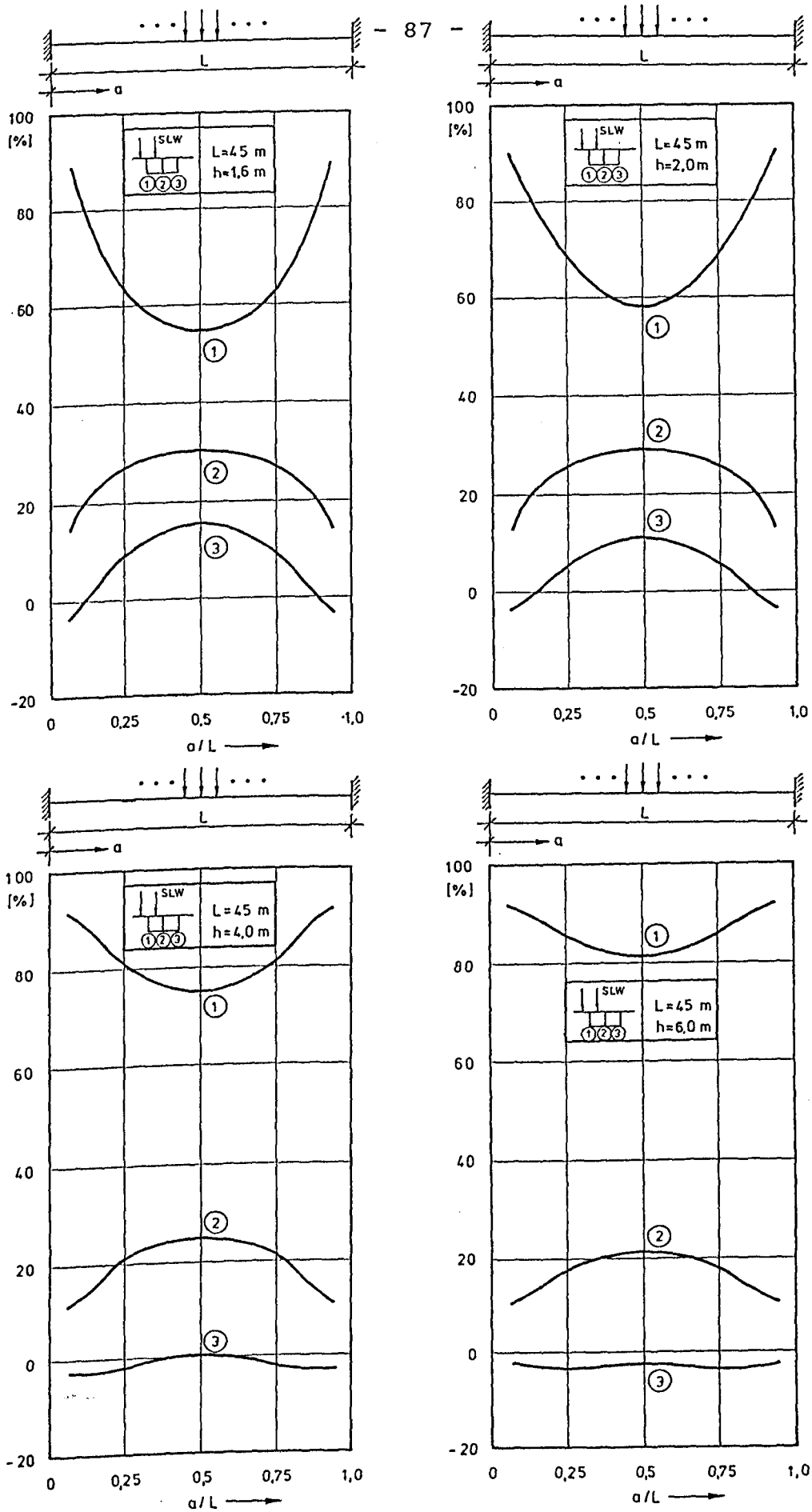


Bild 5.10 Lastanteile pro Steg für Lastfall - C -
SLW auf dem Randsteg; L = konstant; h = variabel

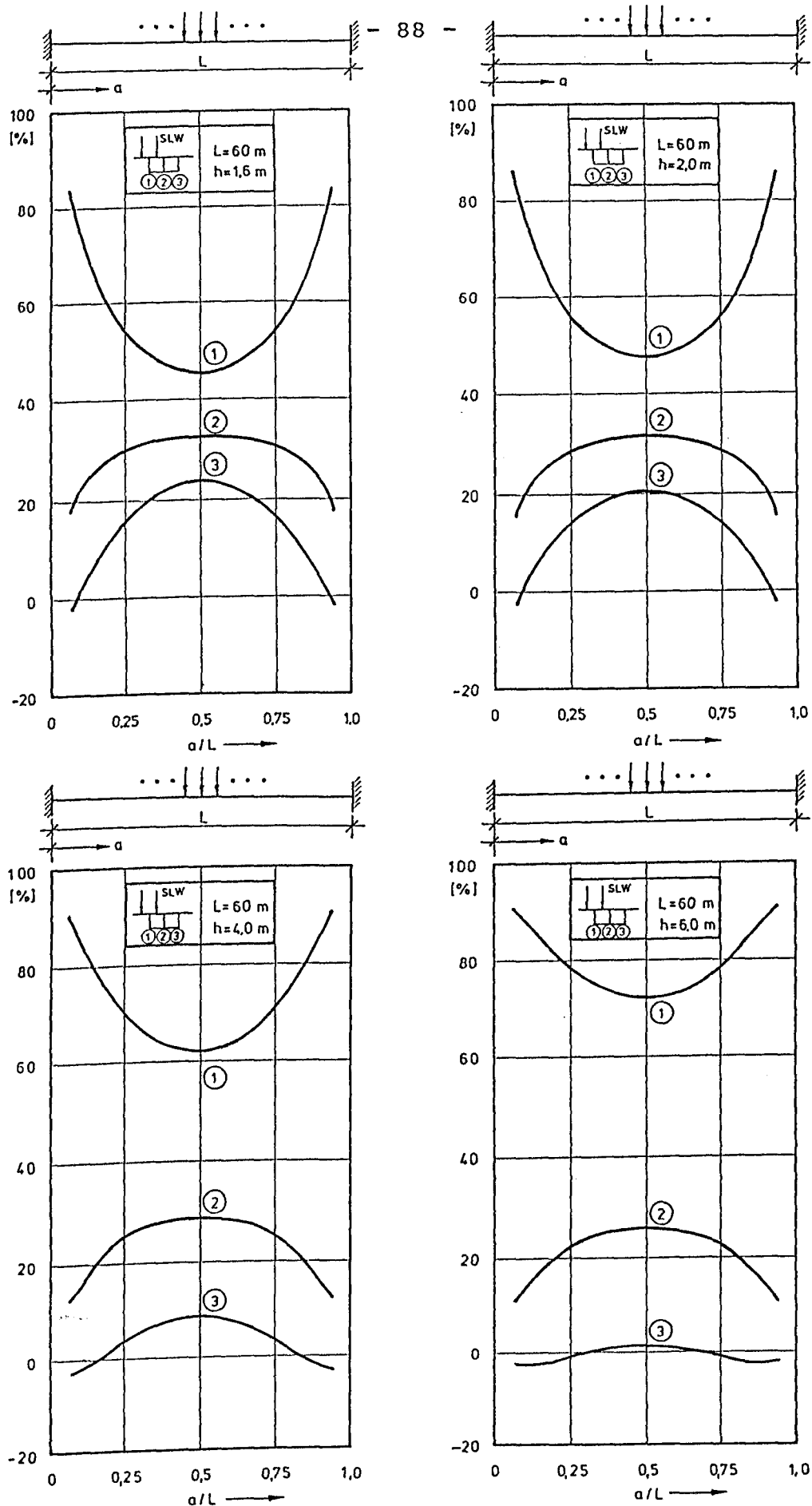


Bild 5.11 Lastanteile pro Steg für Lastfall - C -
SLW auf dem Randsteg; L = konstant; h = variabel

Querverteilung für Lastfall — (D) Linienlast - Mittelsteg Querverteilung für Lastfall — (D) Linienlast - Mittelsteg

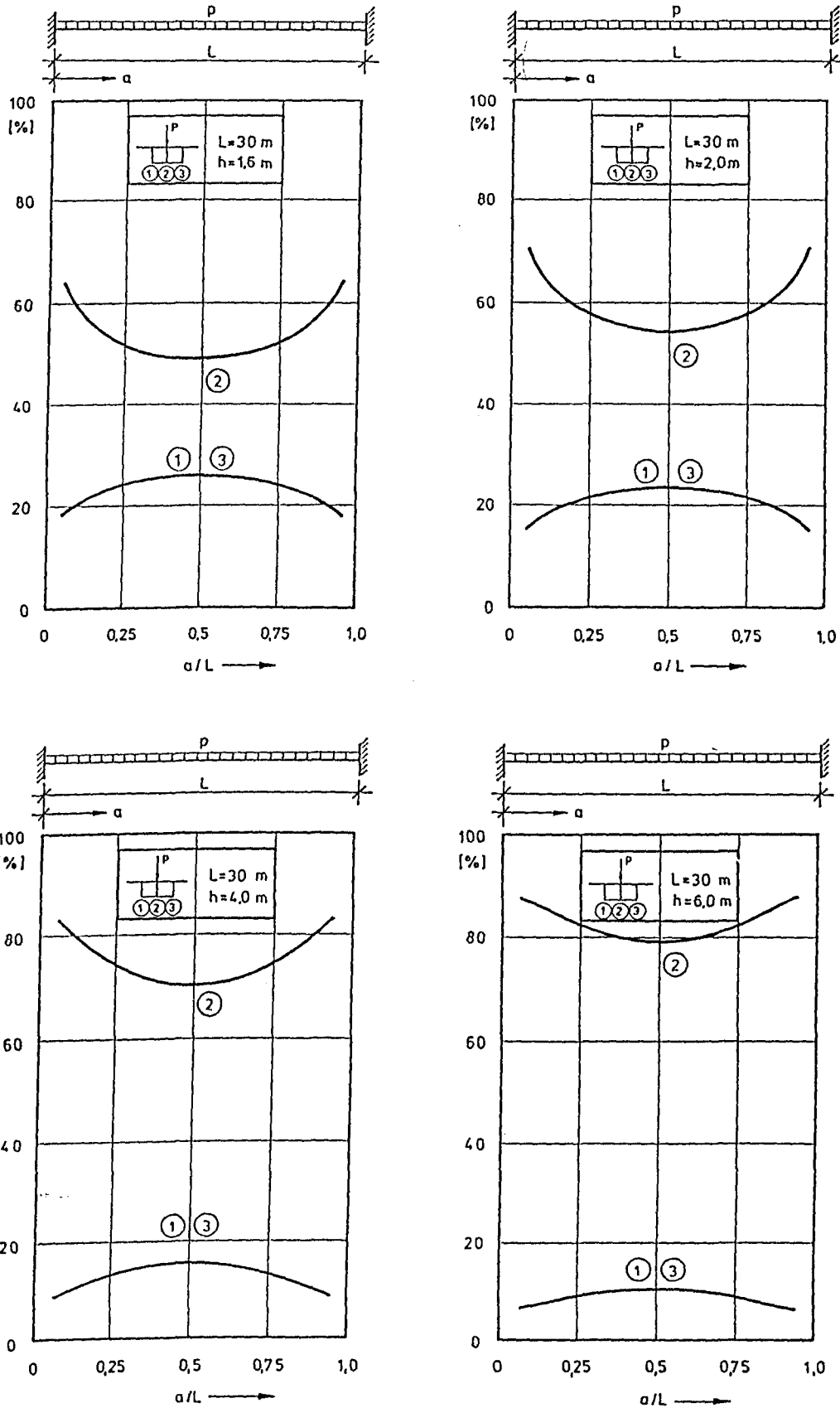


Bild 5.12 Lastanteile pro Steg für Lastfall - D -
Linienlast auf dem Mittelsteg; $L = \text{konst.}; h = \text{var.}$

Querverteilung für Lastfall - (D) Linienfäst - Mittelsteg Querverteilung für Lastfall - (D) Linienlast - Mittelsteg

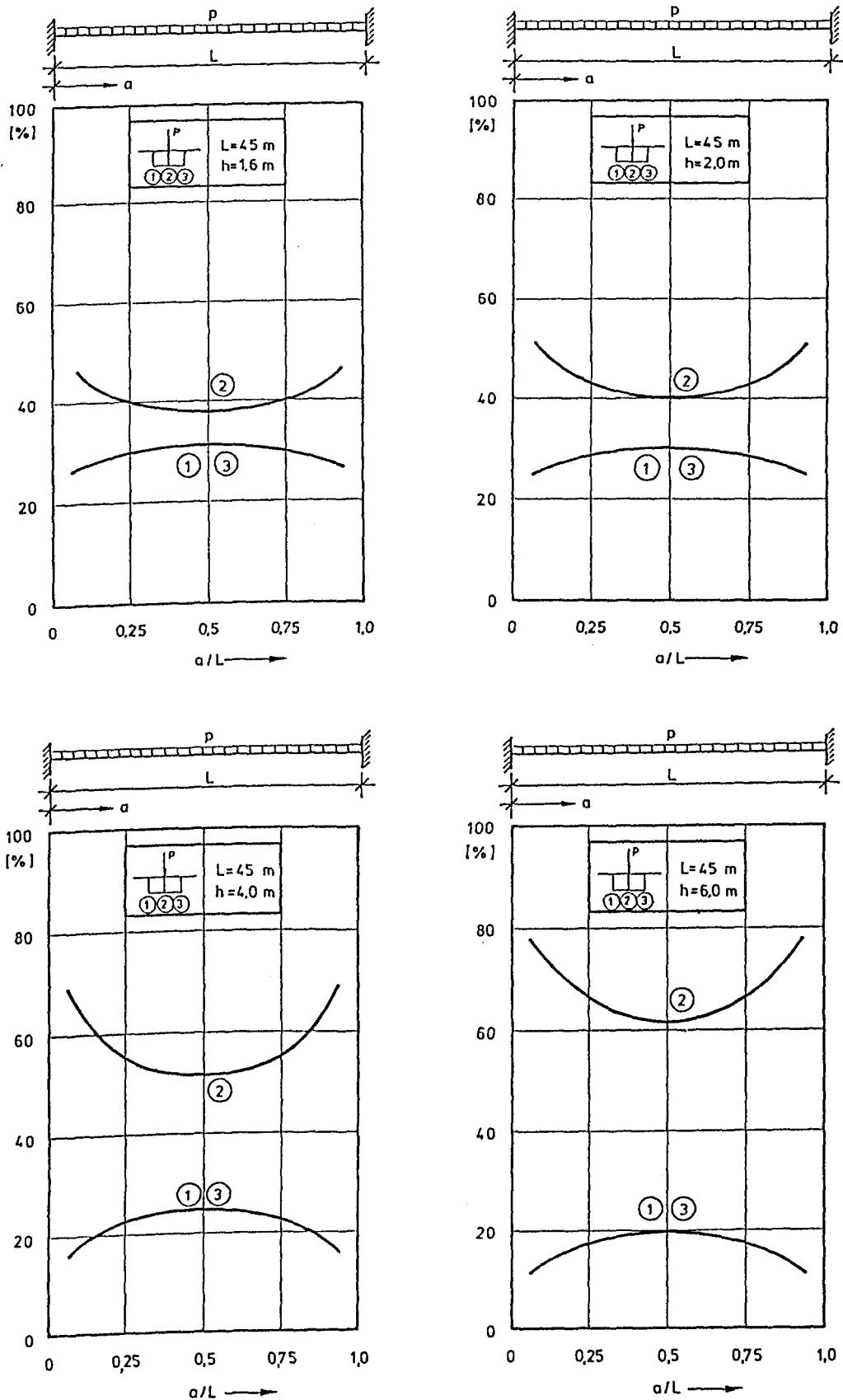


Bild 5.13 Lastanteile pro Steg für Lastfall - D -
Linienlast auf dem Mittelsteg; $L = \text{konst.}$; $h = \text{var.}$

Querverteilung für Lastfall — (D) Linienfäst - Mittelsteg Querverteilung für Lastfall — (D) Linienfäst - Mittelsteg

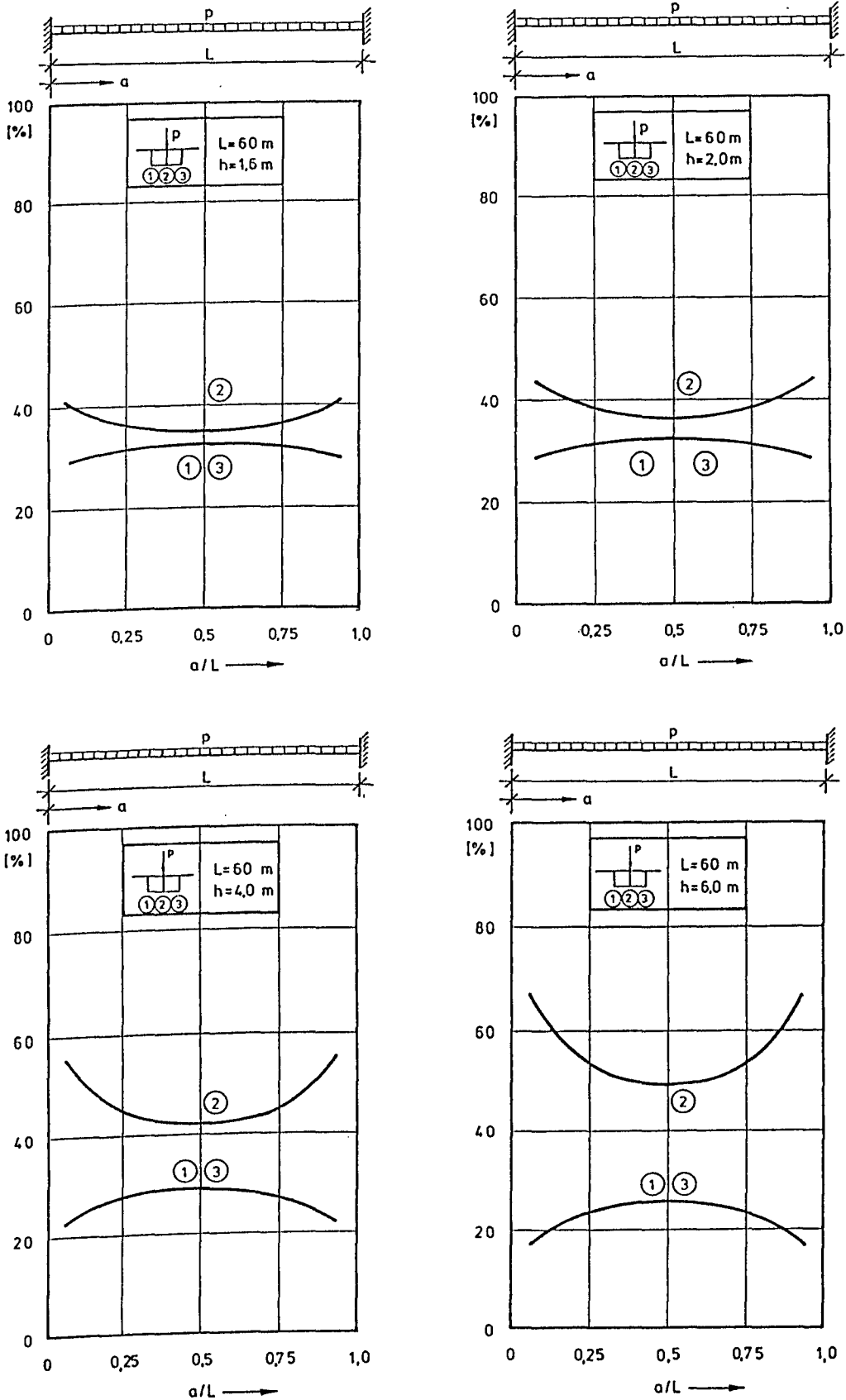
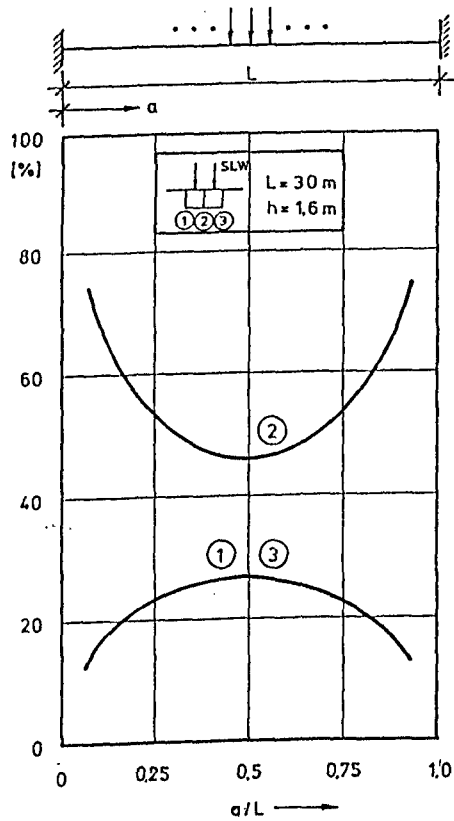


Bild 5.14 Lastanteile pro Steg für Lastfall - D -
Linienlast auf dem Mittelsteg; $L = \text{konst.}; h = \text{var.}$

Querverteilung für Lastfall - (E) SLW- Mittelsteg



Querverteilung für Lastfall - (E) SLW- Mittelsteg

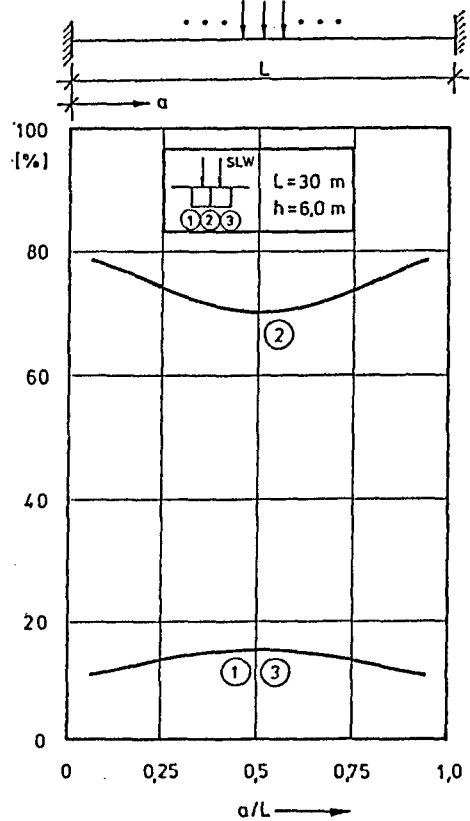
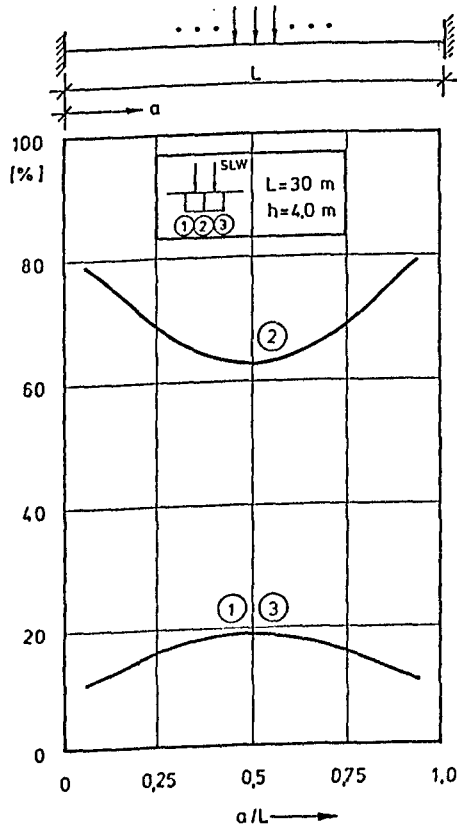
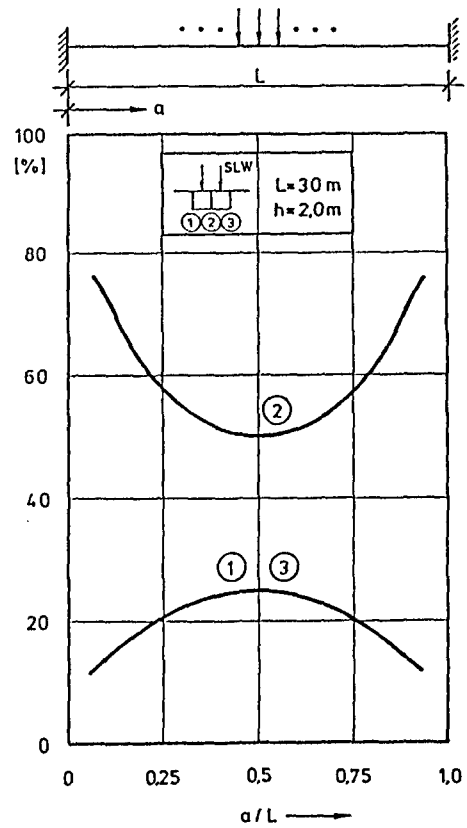
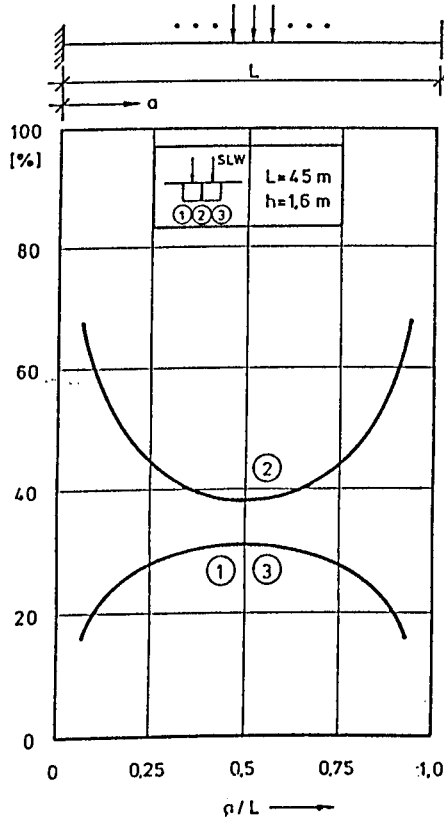


Bild 5.15 Lastanteile pro Steg für Lastfall - E -
SLW auf dem Mittelsteg; $L = \text{konst.}$; $h = \text{var.}$

Querverteilung für Lastfall - (E) SLW-Mittelsteg



Querverteilung für Lastfall - (E) SLW-Mittelsteg

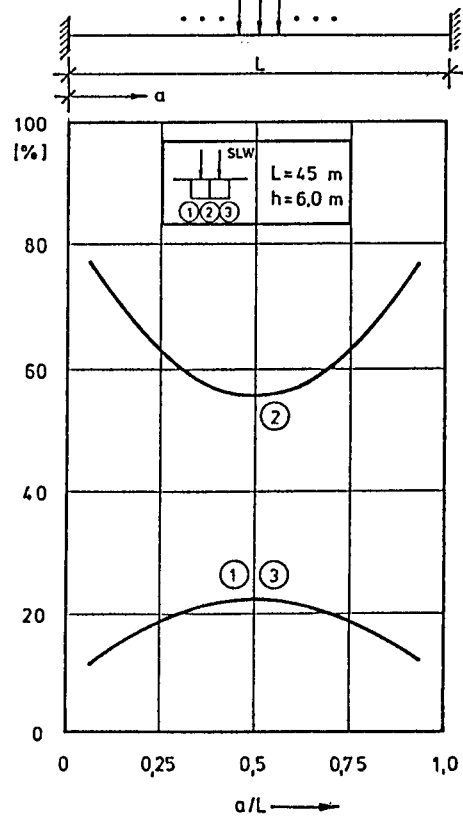
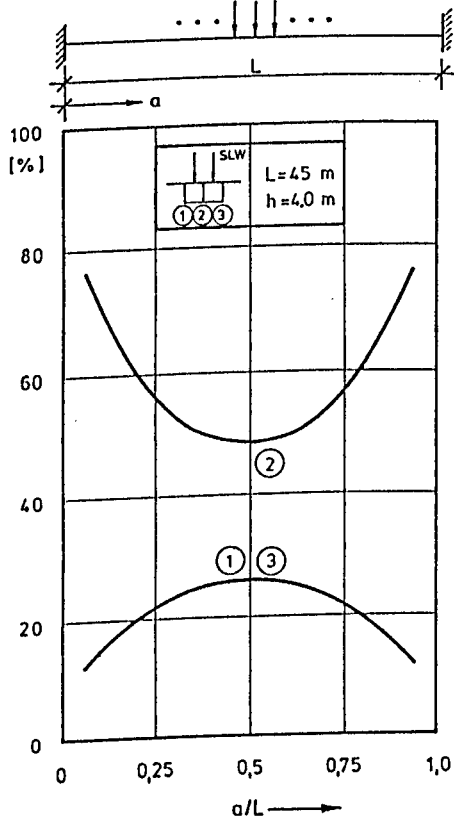
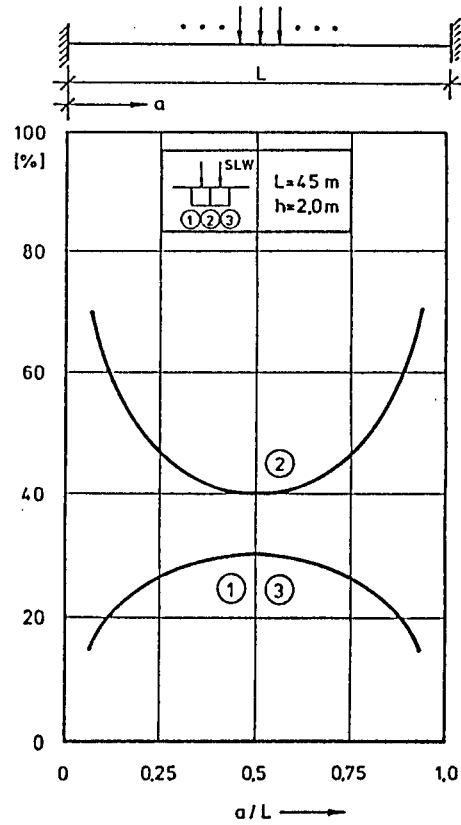
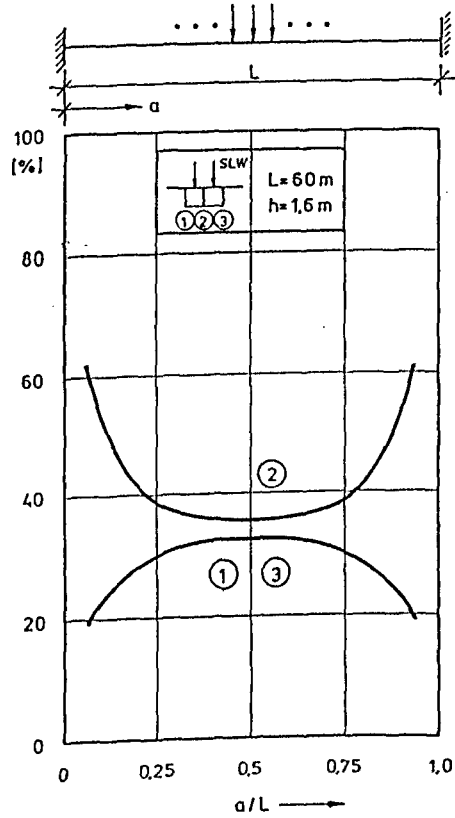


Bild 5.16 Lastanteile pro Steg für Lastfall - E -
SLW auf dem Mittelsteg; $L = \text{konst.}$; $h = \text{var.}$

Querverteilung für Lastfall - (E) SLW-Mittelsteg



Querverteilung für Lastfall - (E) SLW-Mittelsteg

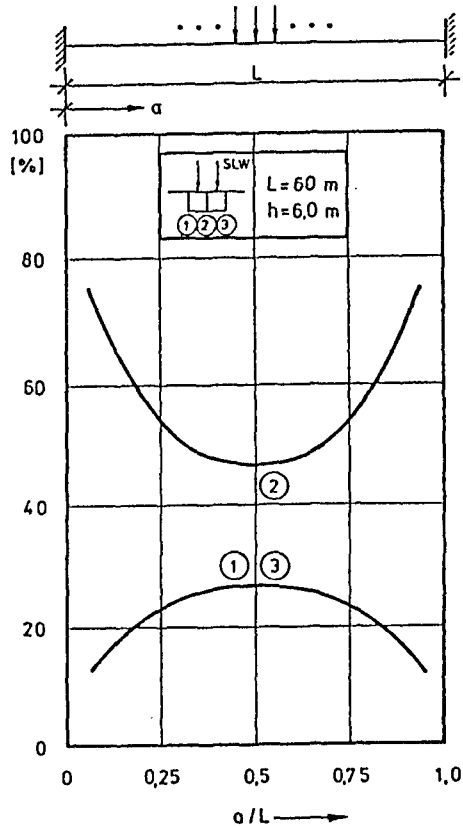
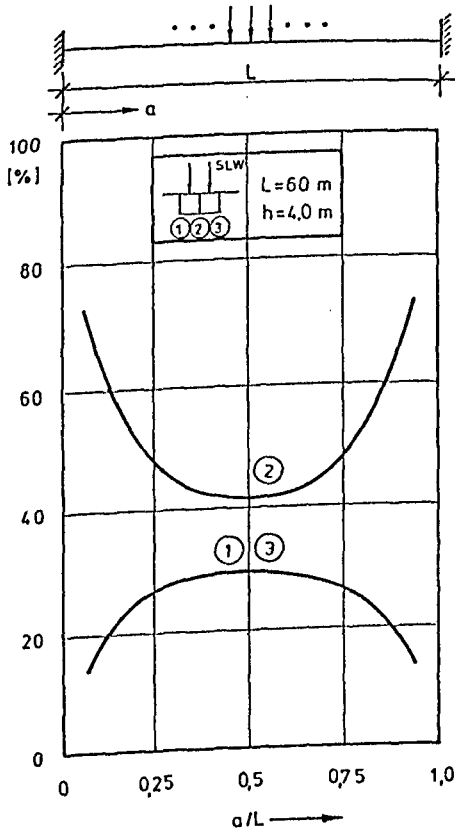
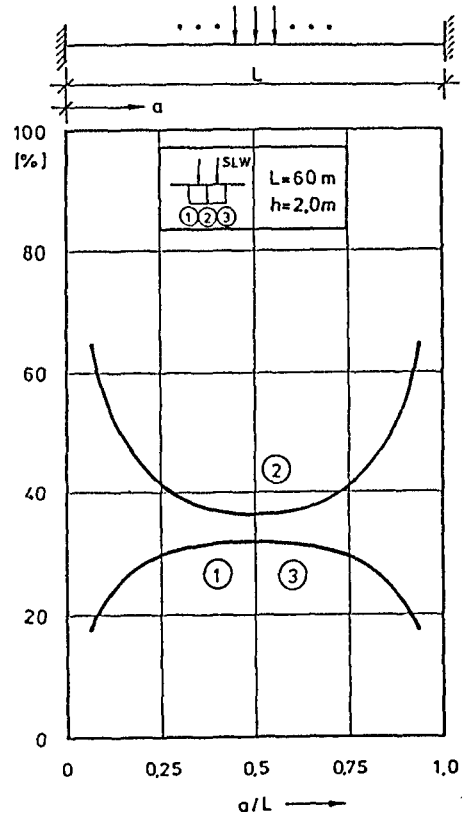


Bild 5.17 Lastanteile pro Steg für Lastfall - E -
SLW auf dem Mittelsteg; $L = \text{konst.}$; $h = \text{var.}$

5.3 Auflagerkräfte und zugehörige Querverteilung je Lagerachse

Zur Kontrolle des gewählten Ansatzes für die Ermittlung der Querverteilung über die vertikalen Durchbiegungen in Kapitel 5.2 wurden in einem zweiten Schritt die Auflagerkräfte zusammengestellt und jeweils pro Lagerachse die daraus resultierenden Querverteilungen ermittelt. Die Auflagerkräfte wurden dabei in Reaktionen R 1 bis R 6 durchnummeriert (Bild 5.18).

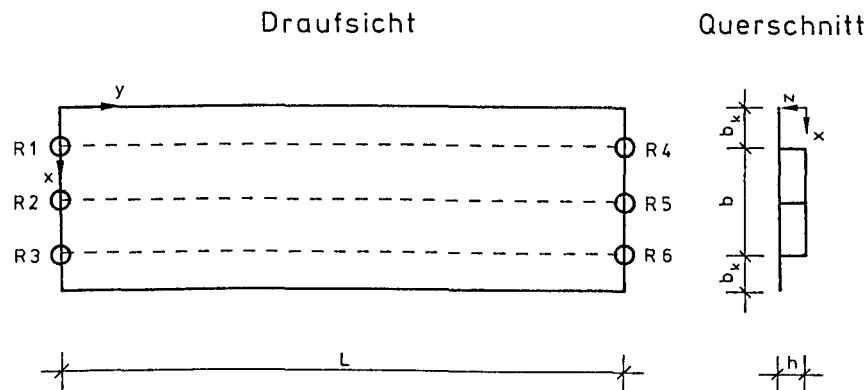


Bild 5.18 Bezeichnungen der Auflagerpunkte unter den Stegen

In die Tabellen 5.1 bis 5.12 wurde eine doppelte Kontrolle der SAP-Rechnungen eingebaut. Gleichzeitig mit der Ermittlung der Querverteilung pro Auflagerachse, wobei das gleiche Vorgehen wie bei der Ermittlung der Querverteilung im Feld gewählt wurde, d. h., pro Auflagerachse wurde die Summe der Auflagerkräfte zu hundert Prozent gesetzt und anschließend die prozentualen Anteile der einzelnen Auflagerkräfte unter den Stegen bestimmt (Gleichung 5.4 und 5.5). Die Lastanteile pro Auflagerpunkt ergeben sich zu:

$$\alpha = \frac{100 \cdot R_i}{\sum_{i=1}^3 R_i} \quad [\%] \quad (5.4)$$

$$\text{bzw. } \alpha = \frac{100 \cdot R_i}{\sum_{i=4}^6 R_i} \quad [\%] \quad (5.5)$$

Diese Querverteilung mußte größenordnungsmäßig eine Fortsetzung der aus den Durchbiegungen ermittelten Querverteilungen im Feld darstellen. Bei den unsymmetrischen Lastfällen addieren sich zu diesen Anteilen noch die Auflagerkräfte zur Aufnahme des Torsionsmoments. Der gewählte Ansatz zur Ermittlung der Querverteilung der Lasten aus den vertikalen Verformungen konnte hierdurch bestätigt werden.

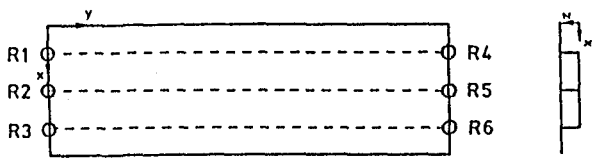
Als zweite Kontrolle wurde bei dieser Auswertung gleich die Gleichgewichtskontrolle durchgeführt, ob die Summe der Auflagerkräfte gleich den aufgebrachten vertikalen Belastungen entspricht. Die Tabellen sind so aufgebaut, daß als konstante Parameter die Stützweite und die Steghöhe des Querschnitts eingehen und sämtliche hierfür betrachteten und untersuchten Belastungen in einer Tabelle zusammengestellt sind.

| | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|
| <div><div><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></</div></div></div></div></div> | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|

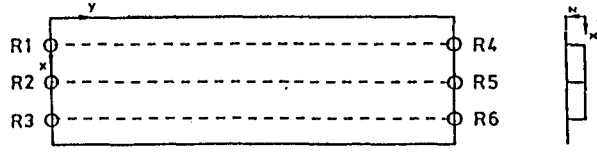
Tab. 5.1 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Querverteilung (2. Zeile) je Lagerachse
L = 30.00 m; h = 1.60 m

| | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|
| <div><div><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><</div></div></div></div> | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|

Tab. 5.2 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Quer-
verteilung (2. Zeile) je Lagerachse;
L = 30.00 m; h = 2.00 m

|  | | | | | | | | |
|--|--------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------|
| L = 30.00 m h = 4.00 m Last- typ Last- stellung | | Auflagerkräfte [KN] Querverteilung [%] | | | | | | ΣR/P |
| | | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | |
| A | L | 1385.09 34.06 | 1295.90 31.87 | 1385.09 34.06 | 1385.09 34.06 | 1295.90 31.87 | 1385.09 34.06 | 1.00 |
| B | L | 144.36 96.24 | 11.27 7.51 | -5.63 -3.75 | 144.36 96.24 | 11.27 7.51 | -5.63 -3.75 | 1.00 |
| C | 0.067L | 534.12 92.71 | 53.62 9.31 | -11.61 -2.02 | 40.49 169.63 | -2.85 -11.94 | -13.77 -57.69 | 1.00 |
| | 0.10L | 522.92 92.32 | 55.75 9.84 | -12.27 -2.17 | 50.08 149.05 | -1.76 -5.24 | -14.72 -43.81 | 1.00 |
| | 0.20L | 474.26 91.13 | 60.86 11.69 | -14.72 -2.83 | 93.03 116.87 | 4.56 5.73 | -17.99 -22.60 | 1.00 |
| | 0.33L | 381.92 89.60 | 60.69 14.24 | -16.37 -3.84 | 171.30 98.58 | 21.09 12.14 | -18.63 -10.72 | 1.00 |
| | 0.50L | 279.34 93.11 | 41.32 13.77 | -20.66 -6.89 | 279.34 93.11 | 41.32 13.77 | -20.66 -6.89 | 1.00 |
| D | L | 10.74 7.16 | 128.52 85.68 | 10.74 7.16 | 10.74 7.16 | 128.52 85.68 | 10.74 7.16 | 1.00 |
| E | 0.067L | 57.50 10.00 | 459.81 79.99 | 57.50 10.00 | -1.63 -6.47 | 28.45 112.94 | -1.63 -6.47 | 1.00 |
| | 0.10L | 59.31 10.50 | 446.50 79.01 | 59.31 10.50 | -0.52 -1.49 | 35.92 102.98 | -0.52 -1.49 | 1.00 |
| | 0.20L | 63.28 12.18 | 392.89 75.64 | 63.28 12.18 | 5.82 7.23 | 68.91 85.55 | 5.82 7.23 | 1.00 |
| | 0.33L | 59.35 13.74 | 313.21 72.52 | 59.35 13.74 | 20.32 12.09 | 127.45 75.82 | 20.32 12.09 | 1.00 |
| | 0.50L | 42.28 14.09 | 215.44 71.81 | 42.28 14.09 | 42.28 14.09 | 215.44 71.81 | 42.28 14.09 | 1.00 |

Tab. 5.3 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Quer-
 verteilung (2. Zeile) je Lagerachse;
 L = 30.00 m; h = 4.00 m

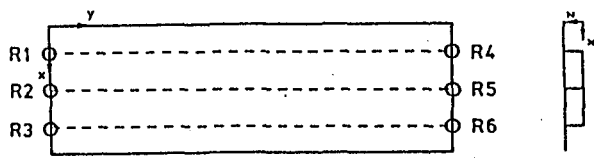
|  | | | | | | | | |
|--|--------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------|
| L = 30.00 m h = 6.00 m Last- Last- typ stellung | | Auflagerkräfte [KN] Querverteilung [%] | | | | | | ΣR/P |
| | | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | |
| A | L | 1715.21 34.22 | 1581.16 31.55 | 1715.21 34.22 | 1715.21 34.22 | 1581.16 31.55 | 1715.21 34.22 | 1.00 |
| B | L | 145.77 97.18 | 8.45 5.63 | -4.22 -2.81 | 145.77 97.18 | 8.45 5.63 | -4.22 -2.81 | 1.00 |
| C | 0.067L | 516.74 92.57 | 52.65 9.43 | -11.15 -2.00 | 60.03 143.75 | -6.19 -14.82 | -12.08 -28.93 | 1.00 |
| | 0.10L | 507.41 92.40 | 53.18 9.68 | -11.47 -2.09 | 68.62 134.87 | -5.23 -10.28 | -12.51 -24.59 | 1.00 |
| | 0.20L | 464.65 91.91 | 53.63 10.61 | -12.74 -2.52 | 108.49 114.85 | 0.10 0.11 | -14.13 -14.96 | 1.00 |
| | 0.33L | 389.41 92.10 | 47.79 11.30 | -14.40 -3.41 | 180.51 101.87 | 12.37 6.98 | -15.68 -8.85 | 1.00 |
| | 0.50L | 284.21 94.74 | 31.58 10.53 | -15.79 -5.26 | 284.21 94.74 | 31.58 10.53 | -15.79 -5.26 | 1.00 |
| D | L | 8.22 5.48 | 133.56 89.04 | 8.22 5.48 | 8.22 5.48 | 133.56 89.04 | 8.22 5.48 | 1.00 |
| E | 0.067L | 57.61 10.34 | 441.67 79.31 | 57.61 10.34 | -3.88 -9.00 | 50.87 118.00 | -3.88 -9.00 | 1.00 |
| | 0.10L | 58.01 10.59 | 431.83 78.82 | 58.01 10.59 | -2.89 -5.54 | 57.93 111.08 | -2.89 -5.54 | 1.00 |
| | 0.20L | 57.91 11.48 | 388.81 77.05 | 57.91 11.48 | 2.59 2.72 | 90.19 94.57 | 2.59 2.72 | 1.00 |
| | 0.33L | 51.39 12.17 | 319.58 75.67 | 51.39 12.17 | 15.08 8.49 | 147.48 83.02 | 15.08 8.49 | 1.00 |
| | 0.50L | 34.63 11.54 | 230.74 76.91 | 34.63 11.54 | 34.63 11.54 | 230.74 76.91 | 34.63 11.54 | 1.00 |

Tab. 5.4 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Quer-
verteilung (2. Zeile) je Lagerachse;
L = 30.00 m; h = 6.00 m

| | | | | | | | | |
|--|--------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------|
| <div><div><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div></div></div> | | | | | | | | |
| L = 45.00 m h = 1.60 m Last- Last- typ stellung | | Auflagerkräfte [KN] Querverteilung [%] | | | | | | ΣR/P |
| | | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | |
| A | L | 1430.72 32.53 | 1536.86 34.94 | 1430.72 32.53 | 1430.72 32.53 | 1536.86 34.94 | 1430.72 32.53 | 1.00 |
| B | L | 199.90 88.84 | 50.20 22.31 | -25.10 -11.16 | 199.90 88.84 | 50.20 22.31 | -25.10 -11.16 | 1.00 |
| C | 0.067L | 539.33 91.33 | 70.74 11.98 | -19.56 -3.31 | 23.67 249.42 | 3.26 34.35 | -17.44 -183.77 | 1.00 |
| | 0.10L | 516.06 88.82 | 87.60 15.08 | -22.65 -3.90 | 36.83 193.94 | 6.62 34.86 | -24.46 -128.80 | 1.00 |
| | 0.20L | 440.95 82.42 | 123.57 23.10 | -29.53 -5.52 | 85.79 131.96 | 22.94 35.29 | -43.72 -67.25 | 1.00 |
| | 0.33L | 349.71 79.03 | 130.13 29.41 | -37.34 -8.44 | 157.76 100.17 | 54.92 34.87 | -55.18 -35.03 | 1.00 |
| | 0.50L | 250.21 83.40 | 99.57 33.19 | -49.78 -16.59 | 250.21 83.40 | 99.57 33.19 | -49.78 -16.59 | 1.00 |
| D | L | 42.49 18.88 | 140.02 62.23 | 42.49 18.88 | 42.49 18.88 | 140.02 62.23 | 42.49 18.88 | 1.00 |
| E | 0.067L | 68.72 11.65 | 452.29 76.69 | 68.72 11.65 | 2.84 27.65 | 4.59 44.69 | 2.84 27.65 | 1.00 |
| | 0.10L | 82.19 14.17 | 415.77 71.67 | 82.19 14.17 | 5.59 28.16 | 8.67 43.68 | 5.59 28.16 | 1.00 |
| | 0.20L | 109.46 20.49 | 315.17 59.01 | 109.46 20.49 | 18.99 28.81 | 27.93 42.38 | 18.99 28.81 | 1.00 |
| | 0.33L | 112.14 25.38 | 217.59 49.24 | 112.14 25.38 | 45.66 28.87 | 66.81 42.25 | 45.66 28.87 | 1.00 |
| | 0.50L | 84.06 28.02 | 131.88 43.96 | 84.06 28.02 | 84.06 28.02 | 131.88 43.96 | 84.06 28.02 | 1.00 |

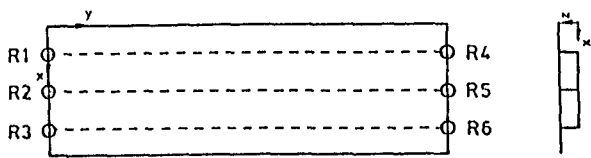
Tab. 5.5 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Quer-
verteilung (2. Zeile) je Lagerachse;

L = 45.00 m; h = 1.60 m

|  | | | | | | | | |
|--|--------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------|
| L = 45.00 m h = 2.00 m Last- Last- typ stellung | | Auflagerkräfte [KN] Querverteilung [%] | | | | | | ER/P |
| | | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | |
| A | L | 1542.37 32.94 | 1597.06 34.11 | 1542.37 32.94 | 1542.37 32.94 | 1597.06 34.11 | 1542.37 32.94 | 1.00 |
| B | L | 202.81 90.14 | 44.38 19.72 | -22.19 -9.86 | 202.81 90.14 | 44.38 19.72 | -22.19 -9.86 | 1.00 |
| C | 0.067L | 540.37 91.56 | 66.38 11.25 | -16.60 -2.81 | 25.04 254.21 | 2.81 28.53 | -18.00 -182.74 | 1.00 |
| | 0.10L | 519.01 89.40 | 80.24 13.82 | -18.67 -3.22 | 37.96 195.47 | 5.82 29.97 | -24.36 -125.44 | 1.00 |
| | 0.20L | 447.60 83.75 | 110.53 20.68 | -23.68 -4.43 | 86.80 132.42 | 20.66 31.52 | -41.91 -63.94 | 1.00 |
| | 0.33L | 356.52 80.64 | 116.93 26.45 | -31.34 -7.09 | 160.06 101.37 | 49.91 31.61 | -52.08 -32.98 | 1.00 |
| | 0.50L | 254.83 84.94 | 90.34 30.11 | -45.17 -15.06 | 254.83 84.94 | 90.34 30.11 | -45.17 -15.06 | 1.00 |
| D | L | 39.00 17.33 | 147.00 65.33 | 39.00 17.33 | 39.00 17.33 | 147.00 65.33 | 39.00 17.33 | 1.00 |
| E | 0.067L | 66.19 11.23 | 457.04 77.54 | 66.19 11.23 | 2.61 24.67 | 5.36 50.66 | 2.61 24.67 | 1.00 |
| | 0.10L | 77.62 13.39 | 424.55 73.22 | 77.62 13.39 | 5.21 25.78 | 9.79 48.44 | 5.21 25.78 | 1.00 |
| | 0.20L | 101.54 19.03 | 330.59 61.95 | 101.54 19.03 | 18.05 27.21 | 30.23 45.58 | 18.05 27.21 | 1.00 |
| | 0.33L | 104.87 23.75 | 231.83 52.50 | 104.87 23.75 | 43.64 27.55 | 71.15 44.91 | 43.64 27.55 | 1.00 |
| | 0.50L | 79.78 26.59 | 140.44 46.81 | 79.78 26.59 | 79.78 26.59 | 140.44 46.81 | 79.78 26.59 | 1.00 |

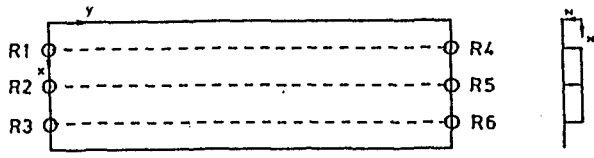
Tab. 5.6 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Querverteilung (2. Zeile) je Lagerachse;

L = 45.00 m; h = 2.00 m

| <div style="text-align: center;">  </div> | | | | | | | | |
|---|--------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------|
| L = 45.00 m h = 4.00 m Last- Last- typ stellung | | Auflagerkräfte [kN] Querverteilung [%] | | | | | | ΣR/P |
| | | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | |
| A | L | 2063.61 33.83 | 1971.89 32.33 | 2063.61 33.83 | 2063.61 33.83 | 1971.89 32.33 | 2063.61 33.83 | 1.00 |
| B | L | 211.23 93.88 | 27.54 12.24 | -13.77 -6.12 | 211.23 93.88 | 27.54 12.24 | -13.77 -6.12 | 1.00 |
| C | 0.067L | 540.12 92.04 | 58.32 9.94 | -11.58 -1.97 | 30.91 235.24 | -0.38 -2.89 | -17.39 -132.34 | 1.00 |
| | 0.10L | 524.91 90.97 | 64.64 11.20 | -12.52 -2.17 | 42.16 183.54 | 1.23 5.35 | -20.42 -88.90 | 1.00 |
| | 0.20L | 467.41 88.09 | 78.72 14.84 | -15.51 -2.92 | 87.97 126.79 | 10.51 15.15 | -29.10 -41.94 | 1.00 |
| | 0.33L | 380.75 86.65 | 79.56 18.11 | -20.91 -4.76 | 164.08 102.17 | 30.76 19.15 | -34.24 -21.32 | 1.00 |
| | 0.50L | 270.14 90.05 | 59.73 19.91 | -29.87 -9.96 | 270.14 90.05 | 59.73 19.91 | -29.87 -9.96 | 1.00 |
| D | L | 26.21 11.65 | 172.58 76.70 | 26.21 11.65 | 26.21 11.65 | 172.58 76.70 | 26.21 11.65 | 1.00 |
| E | 0.067L | 62.36 10.64 | 461.47 78.72 | 62.36 10.64 | 0.06 0.43 | 13.69 99.13 | 0.06 0.43 | 1.00 |
| | 0.10L | 67.95 11.79 | 440.47 76.42 | 67.95 11.79 | 1.65 6.98 | 20.33 86.03 | 1.65 6.98 | 1.00 |
| | 0.20L | 79.82 15.06 | 370.46 69.88 | 79.82 15.06 | 10.71 15.32 | 48.48 69.36 | 10.71 15.32 | 1.00 |
| | 0.33L | 79.07 18.01 | 280.95 63.98 | 79.07 18.01 | 30.41 18.90 | 100.09 62.20 | 30.41 18.90 | 1.00 |
| | 0.50L | 58.86 19.62 | 182.28 60.76 | 58.86 19.62 | 58.86 19.62 | 182.28 60.76 | 58.86 19.62 | 1.00 |

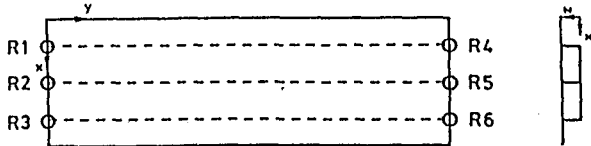
Tab. 5.7 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Querverteilung (2. Zeile) je Lagerachse;

L = 45.00 m; h = 4.00 m

|  | | | | | | | | |
|--|--------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------|
| L = 45.00 m h = 6.00 m Last- Last- typ stellung | | Auflagerkräfte [kN] Querverteilung [%] | | | | | | ΣR/P |
| | | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | |
| A | L | 2561.45 34.08 | 2393.90 31.85 | 2561.45 34.08 | 2561.45 34.08 | 2393.90 31.85 | 2561.45 34.08 | 1.00 |
| B | L | 214.70 95.42 | 20.60 9.16 | -10.30 -4.58 | 214.70 95.42 | 20.60 9.16 | -10.30 -4.58 | 1.00 |
| C | 0.067L | 534.39 92.08 | 57.44 9.90 | -11.50 -1.98 | 38.91 197.81 | -4.04 -20.54 | -15.20 -77.28 | 1.00 |
| | 0.10L | 522.07 91.51 | 60.62 10.63 | -12.19 -2.14 | 49.09 166.41 | -2.94 -9.97 | -16.65 -56.44 | 1.00 |
| | 0.20L | 471.45 89.91 | 67.48 12.87 | -14.55 -2.77 | 92.81 122.73 | 3.99 5.28 | -21.18 -28.01 | 1.00 |
| | 0.33L | 389.07 89.40 | 64.18 14.75 | -18.04 -4.15 | 168.64 102.34 | 20.39 12.37 | -24.24 -14.71 | 1.00 |
| | 0.50L | 277.40 92.47 | 45.20 15.07 | -22.60 -7.53 | 277.40 92.47 | 45.20 15.07 | -22.60 -7.53 | 1.00 |
| D | L | 20.07 8.92 | 184.86 82.16 | 20.07 8.92 | 20.07 8.92 | 184.86 82.16 | 20.07 8.92 | 1.00 |
| E | 0.067L | 63.02 10.87 | 453.63 78.26 | 63.02 10.87 | -2.94 -14.46 | 26.21 128.92 | -2.94 -14.46 | 1.00 |
| | 0.10L | 65.84 11.55 | 438.21 76.89 | 65.84 11.55 | -1.78 -5.91 | 33.67 111.82 | -1.78 -5.91 | 1.00 |
| | 0.20L | 71.50 13.65 | 380.94 72.71 | 71.50 13.65 | 5.33 7.01 | 65.40 85.98 | 5.33 7.01 | 1.00 |
| | 0.33L | 67.01 15.41 | 300.95 69.19 | 67.01 15.41 | 21.95 13.30 | 121.13 73.40 | 21.95 13.30 | 1.00 |
| | 0.50L | 47.19 15.73 | 205.62 68.54 | 47.19 15.73 | 47.19 15.73 | 205.62 68.54 | 47.19 15.73 | 1.00 |

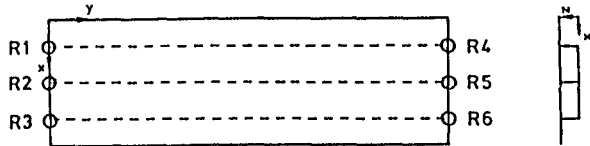
Tab. 5.8 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Querverteilung (2. Zeile) je Lagerachse;

L = 45.00 m; h = 6.00 m

|  | | | | | | | | |
|--|--------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------|
| L = 60.00 m h = 1.60 m Last- Last- typ stellung | | Auflagerkräfte [kN] Querverteilung [%] | | | | | | ΣR/P |
| | | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | |
| A | L | 1887.52 32.16 | 2094.03 35.68 | 1887.52 32.16 | 1882.23 32.12 | 2095.26 35.76 | 1882.23 32.12 | 1.00 |
| B | L | 261.55 87.11 | 77.78 25.91 | -39.09 -13.02 | 260.55 86.92 | 78.03 26.03 | -38.82 -12.95 | 1.00 |
| C | 0.067L | 533.90 90.29 | 81.25 13.74 | -23.84 -4.03 | 23.79 273.76 | 3.37 38.78 | -18.47 -212.54 | 1.00 |
| | 0.10L | 506.41 86.99 | 104.00 17.86 | -28.25 -4.85 | 38.13 213.73 | 6.91 38.73 | -27.20 -152.47 | 1.00 |
| | 0.20L | 426.26 79.43 | 146.13 27.23 | -35.77 -6.67 | 88.48 139.60 | 24.40 38.50 | -49.50 -78.10 | 1.00 |
| | 0.33L | 339.07 76.40 | 147.49 33.23 | -42.77 -9.64 | 157.59 100.88 | 59.19 37.89 | -60.57 -38.77 | 1.00 |
| | 0.50L | 231.76 77.16 | 110.95 36.94 | -42.36 -14.10 | 230.78 77.02 | 111.03 37.05 | -42.16 -14.07 | 1.00 |
| D | L | 64.87 21.61 | 170.50 56.79 | 64.87 21.61 | 64.80 21.62 | 170.16 56.77 | 64.80 21.62 | 1.00 |
| E | 0.067L | 77.77 13.16 | 435.25 73.67 | 77.77 13.16 | 2.72 29.53 | 3.77 40.93 | 2.72 29.53 | 1.00 |
| | 0.10L | 95.92 16.49 | 389.70 67.01 | 95.92 16.49 | 5.48 29.69 | 7.50 40.63 | 5.48 29.69 | 1.00 |
| | 0.20L | 127.56 23.80 | 280.82 52.40 | 127.56 23.80 | 19.18 29.94 | 25.70 40.12 | 19.18 29.94 | 1.00 |
| | 0.33L | 124.61 28.11 | 194.12 43.79 | 124.61 28.11 | 47.04 30.03 | 62.58 39.95 | 47.04 30.03 | 1.00 |
| | 0.50L | 89.39 29.76 | 121.57 40.48 | 89.39 29.76 | 89.05 29.72 | 121.55 40.56 | 89.05 29.72 | 1.00 |

Tab. 5.9 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Querverteilung (2. Zeile) je Lagerachse;

L = 60.00 m; h = 1.60 m

|  | | | | | | | | |
|--|--------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------|
| L = 60.00 m h = 2.00 m Last- Last- typ stellung | | Auflagerkräfte [kN] Querverteilung [%] | | | | | | ΣR/P |
| | | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | |
| A | L | 2037.81 32.62 | 2170.84 34.75 | 2037.81 32.62 | 2033.69 32.60 | 2171.00 34.80 | 2033.67 32.60 | 1.00 |
| B | L | 265.02 88.28 | 70.73 23.56 | -35.55 -11.84 | 264.15 88.11 | 70.93 23.66 | -35.28 -11.77 | 1.00 |
| C | 0.067L | 535.89 90.66 | 75.35 12.75 | -20.11 -3.40 | 24.87 280.38 | 3.14 35.40 | -19.14 -215.78 | 1.00 |
| | 0.10L | 510.24 87.69 | 94.68 16.27 | -23.04 -3.96 | 39.18 216.23 | 6.47 35.71 | -27.53 -151.93 | 1.00 |
| | 0.20L | 432.32 80.62 | 132.15 24.64 | -28.23 -5.26 | 90.16 141.41 | 22.90 35.92 | -49.30 -77.32 | 1.00 |
| | 0.33L | 343.73 77.51 | 135.58 30.57 | -35.82 -8.08 | 160.72 102.69 | 55.52 35.47 | -59.73 -38.16 | 1.00 |
| | 0.50L | 249.48 83.08 | 101.90 33.93 | -51.09 -17.01 | 248.60 82.95 | 101.94 34.01 | -50.83 -16.96 | 1.00 |
| D | L | 61.48 20.48 | 177.24 59.04 | 61.48 20.48 | 61.49 20.51 | 176.82 58.98 | 61.49 20.51 | 1.00 |
| E | 0.067L | 74.03 12.53 | 442.57 74.93 | 74.03 12.53 | 2.72 29.03 | 3.93 41.94 | 2.72 29.03 | 1.00 |
| | 0.10L | 89.98 15.48 | 401.35 69.04 | 89.98 15.48 | 5.49 29.37 | 7.71 41.25 | 5.49 29.37 | 1.00 |
| | 0.20L | 119.58 22.32 | 296.48 55.35 | 119.58 22.32 | 19.22 29.86 | 25.92 40.27 | 19.22 29.86 | 1.00 |
| | 0.33L | 119.54 26.98 | 204.00 46.04 | 119.54 26.98 | 46.92 29.90 | 63.08 40.20 | 46.92 29.90 | 1.00 |
| | 0.50L | 87.82 29.25 | 124.65 41.51 | 87.82 29.25 | 87.60 29.23 | 124.51 41.54 | 87.60 29.23 | 1.00 |

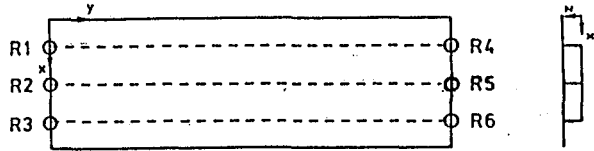
Tab. 5.10 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Querverteilung (2. Zeile) je Lagerachse;

L = 60.00 m; h = 2.00 m

| | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|
| <div><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|

Tab. 5.11 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Querverteilung (2. Zeile) je Lagerachse;

L = 60.00 m; h = 4.00 m

|  | | | | | | | | |
|--|--------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------|
| L = 60.00 m h = 6.00 m Last- Last- typ stellung | | Auflagerkräfte [kN] Querverteilung [%] | | | | | | ΣR/P |
| | | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | |
| A | L | 3403.65 33.94 | 3220.15 32.11 | 3403.65 33.94 | 3400.09 33.94 | 3218.68 32.13 | 3400.09 33.94 | 1.00 |
| B | L | 281.84 93.91 | 36.99 12.32 | -18.70 -6.23 | 281.00 93.71 | 37.33 12.45 | -18.46 -6.16 | 1.00 |
| C | 0.067L | 538.38 91.73 | 59.72 10.17 | -11.17 -1.90 | 32.48 248.51 | -1.43 -10.94 | -17.98 -137.57 | 1.00 |
| | 0.10L | 523.18 90.64 | 65.90 11.42 | -11.87 -2.06 | 43.85 192.41 | 0.04 0.18 | -21.10 -92.58 | 1.00 |
| | 0.20L | 466.19 87.78 | 78.97 14.87 | -14.06 -2.65 | 89.84 130.39 | 8.97 13.02 | -29.91 -43.41 | 1.00 |
| | 0.33L | 380.60 86.53 | 78.40 17.82 | -19.15 -4.35 | 165.72 103.48 | 28.96 18.08 | -34.53 -21.56 | 1.00 |
| | 0.50L | 271.44 90.43 | 57.84 19.27 | -29.11 -9.70 | 270.65 90.27 | 57.98 19.34 | -28.80 -9.61 | 1.00 |
| D | L | 36.03 12.01 | 228.06 75.99 | 36.03 12.01 | 36.35 12.12 | 227.18 75.76 | 36.35 12.12 | 1.00 |
| E | 0.067L | 65.55 11.18 | 455.42 77.65 | 65.55 11.18 | -0.91 -6.75 | 15.30 113.50 | -0.91 -6.75 | 1.00 |
| | 0.10L | 71.15 12.33 | 434.53 75.33 | 71.15 12.33 | 0.59 2.55 | 21.99 94.91 | 0.59 2.55 | 1.00 |
| | 0.20L | 82.44 15.53 | 365.91 68.94 | 82.44 15.53 | 9.57 13.83 | 50.07 72.35 | 9.57 13.83 | 1.00 |
| | 0.33L | 80.28 18.26 | 279.10 63.48 | 80.28 18.26 | 29.57 18.44 | 101.20 63.12 | 29.57 18.44 | 1.00 |
| | 0.50L | 58.73 19.57 | 182.71 60.87 | 58.73 19.57 | 58.84 19.62 | 182.15 60.75 | 58.84 19.62 | 1.00 |

Tab. 5.12 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Querverteilung (2. Zeile) je Lagerachse;

L = 60.00 m; h = 6.00 m

5.4 Ausgewählte Ergebnisse

Um die Tendenzen im qualitativen und quantitativen Verlauf des Lastabtrags für die unterschiedlichen Belastungen zu zeigen, werden die in Kapitel 5.2 ermittelten Querverteilungen für jeden Lastfall an ausgewählten Querschnitten in Histogrammen zusammengefaßt. Die Stützweite wurde mit $L = 45 \text{ m}$ für alle Bilder gleich gewählt. Die Lastanteile werden pro Bild für $0.2 L$ und $0.5 L$ der Stützweite aufgetragen, um den unterschiedlichen Lastabtrag für die einzelnen Lastfälle in Brückenlängsrichtung hervorzuheben.

In Bild 5.19 angegebene Lastanteile für den Lastfall Eigengewicht zeigen deutlich, daß es sich um einen ausgewogenen Brückenquerschnitt handelt. Die Lasten werden zu ungefähr einem Drittel von jedem Steg über die gesamte Brückenlänge abgetragen. Die etwas größeren Lastanteile ergeben sich aus den für diesen Stegabstand relativ langen Kragarmen. Dieses Verhältnis kehrt sich um, wenn die Kragarme sehr kurz werden und der größte Anteil der Querschnittsfläche dem Mittelsteg zuzuordnen ist.

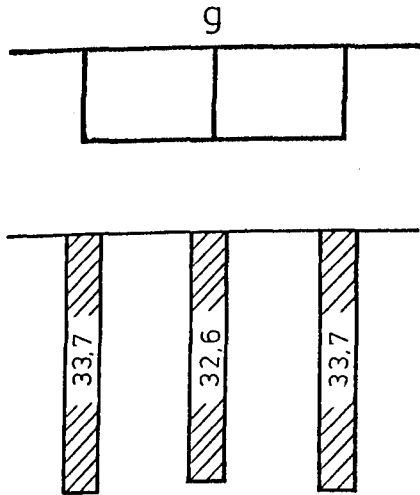
Bei Anordnung einer Linienlast auf dem Randsteg (Bild 5.20) zeichnet sich bereits deutlich der in Längsrichtung veränderliche Lastabtrag ab. Die vertikalen Durchbiegungen werden in der Nähe der Auflager geringer, so daß die zum Querabtrag von unausgesteiften Kastenträgern erforderliche Querverformung des Kastens nicht aktiviert werden kann und die Lasten über Biegebeanspruchung der belasteten Stege direkt zum Auflager übertragen werden.

Noch ausgeprägter wird dieses Tragverhalten bei Einzellasten infolge Schwerlastwagen (Bild 5.21). Bei einem Querschnitt mit einer Biegeschlankheit von $L/h = 22.5$ beträgt der Lastanteil an der Stelle $0.2 L$ vom Auflager 73% und wächst mit abnehmender Biegeschlankheit ($L/h = 11.25$) auf 84% . In Brückenlängsrichtung ist bei einem schlanken Tragwerk die Abnahme der Querverteilung in Richtung Auflagerung wesentlich stärker, da infolge großer Durchbiegungen in Feldmitte andere Tragwerksteile zum Mittragen herangezogen werden. Bei einem

Kastenträger mit mäßiger Schlankheit ist die Änderung des Lastabtrags entlang der Trägerachse nicht so extrem, da infolge großer Biegesteifigkeit des belasteten Steges die Durchbiegungen geringer sind und die zur Lastübertragung erforderlichen Querbiegemomente infolge Profilverformung entsprechend geringer ausfallen. Hierdurch ist bei Tragwerken mit mäßiger Schlankheit und baupraktisch üblichen Konstruktionselementdicken die Querverteilung grundsätzlich schlechter als bei schlanken Konstruktionen.

Die vorangegangenen Ausführungen zu den Linien- und Einzellasten auf dem Randsteg lassen sich prinzipiell auf Belastungen des Mittelsteiges übertragen (Bild 5.22 und 5.23). Lediglich die Torsionsbeanspruchung des Querschnittes aus exzentrischer Beanspruchung entfällt, und der absolute Betrag der Querverteilung der Lasten ist wegen des beidseitigen Lastabtrags wesentlich günstiger. Es wurde jedoch für symmetrisch auftretende Verkehrslasten bei keiner der untersuchten Geometrien ein gleichmäßiger Lastabtrag über alle Stege erreicht.

Ort: $a = 0,2 \cdot L$



Ort: $a = 0,5 \cdot L$

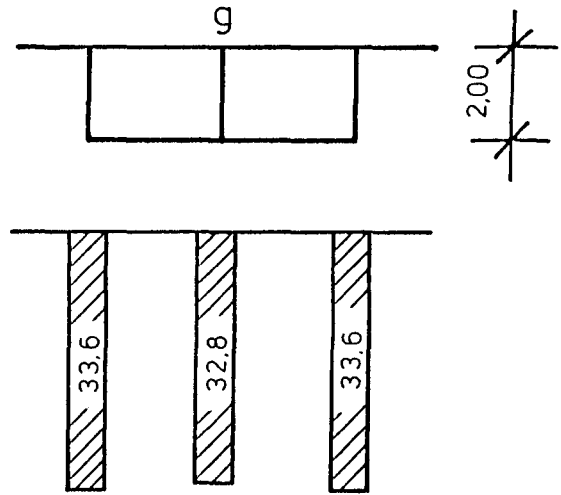
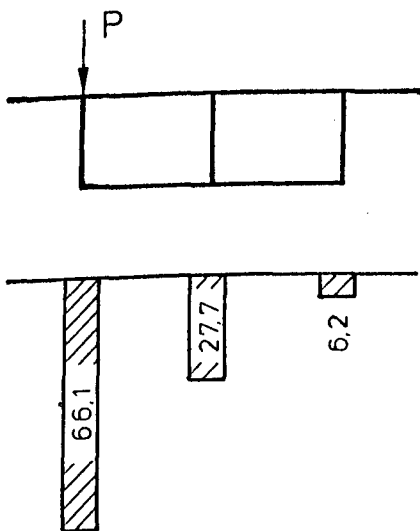


Bild 5.19 Querverteilung für den Lastfall - A - Eigengewicht an diskreten Orten in Trägerlängsrichtung; $L = 45,00 \text{ m}$; $h = 2,00 \text{ m}$

Ort: $a = 0,2 \cdot L$



Ort: $a = 0,5 \cdot L$

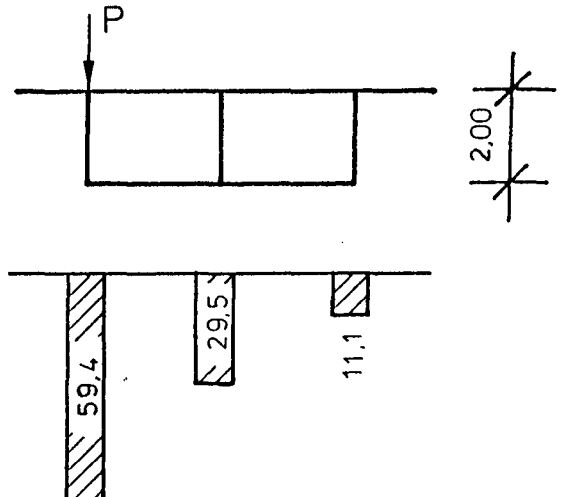


Bild 5.20 Querverteilung für den Lastfall - B - Linienlast auf dem Randsteg an diskreten Orten in Trägerlängsrichtung; $L = 45,00 \text{ m}$; $h = 2,00 \text{ m}$

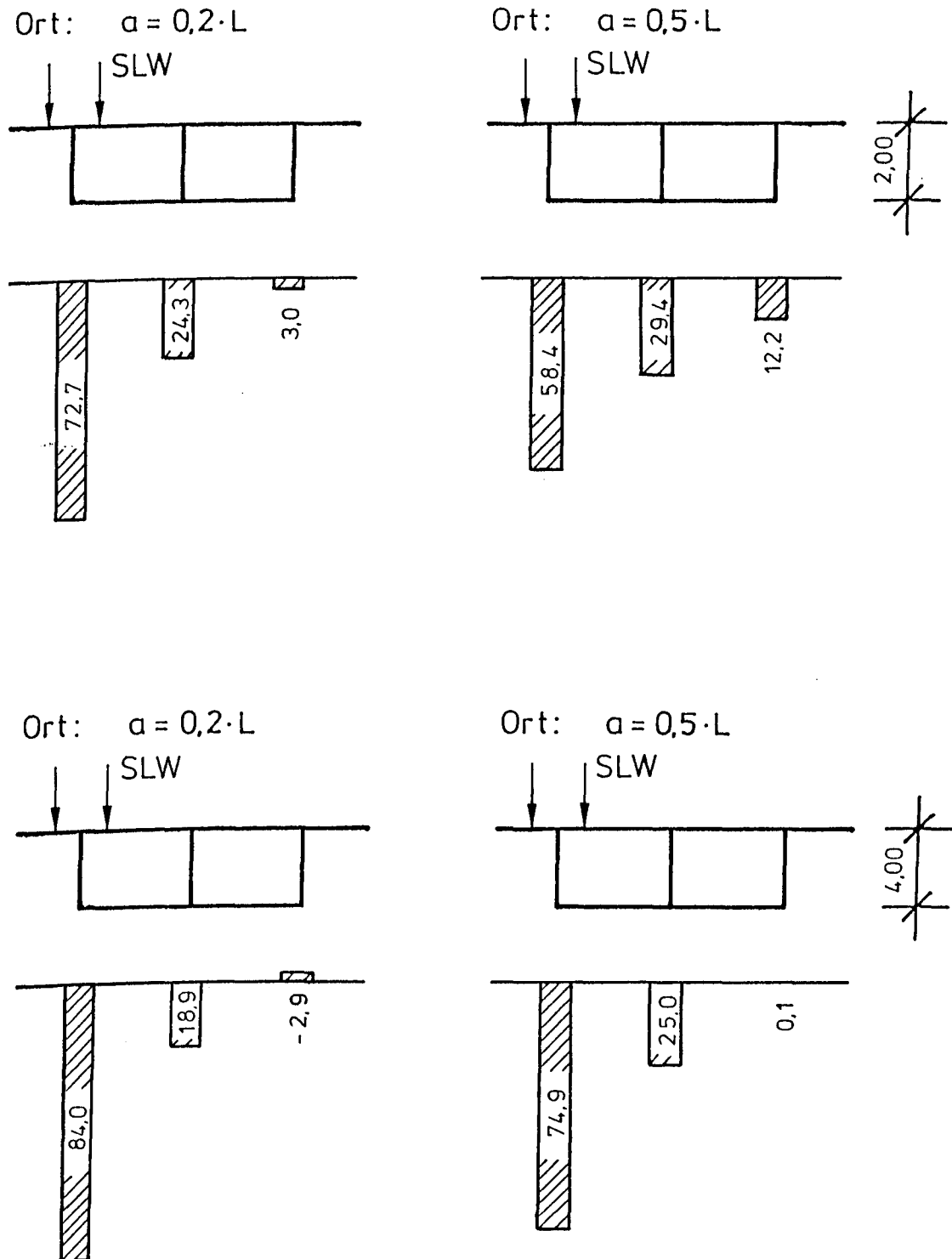


Bild 5.21 Querverteilung für den Lastfall - C - SLW auf dem Randsteg an diskreten Orten in Trägerlängsrichtung; $L = 45.00$ m; $h = 2.00$ m bzw. 4.00 m

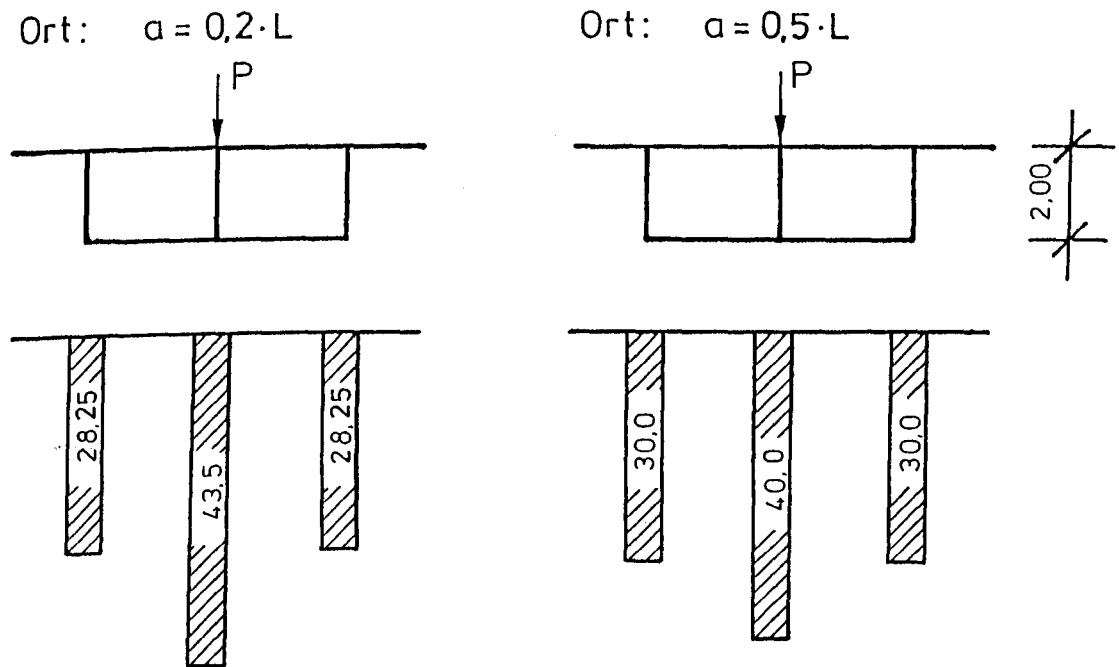


Bild 5.22 Querverteilung für den Lastfall - D - Linienlast auf dem Mittelsteg an diskreten Orten in Trägerlängsrichtung; $L = 45.00$ m; $h = 2.00$ m

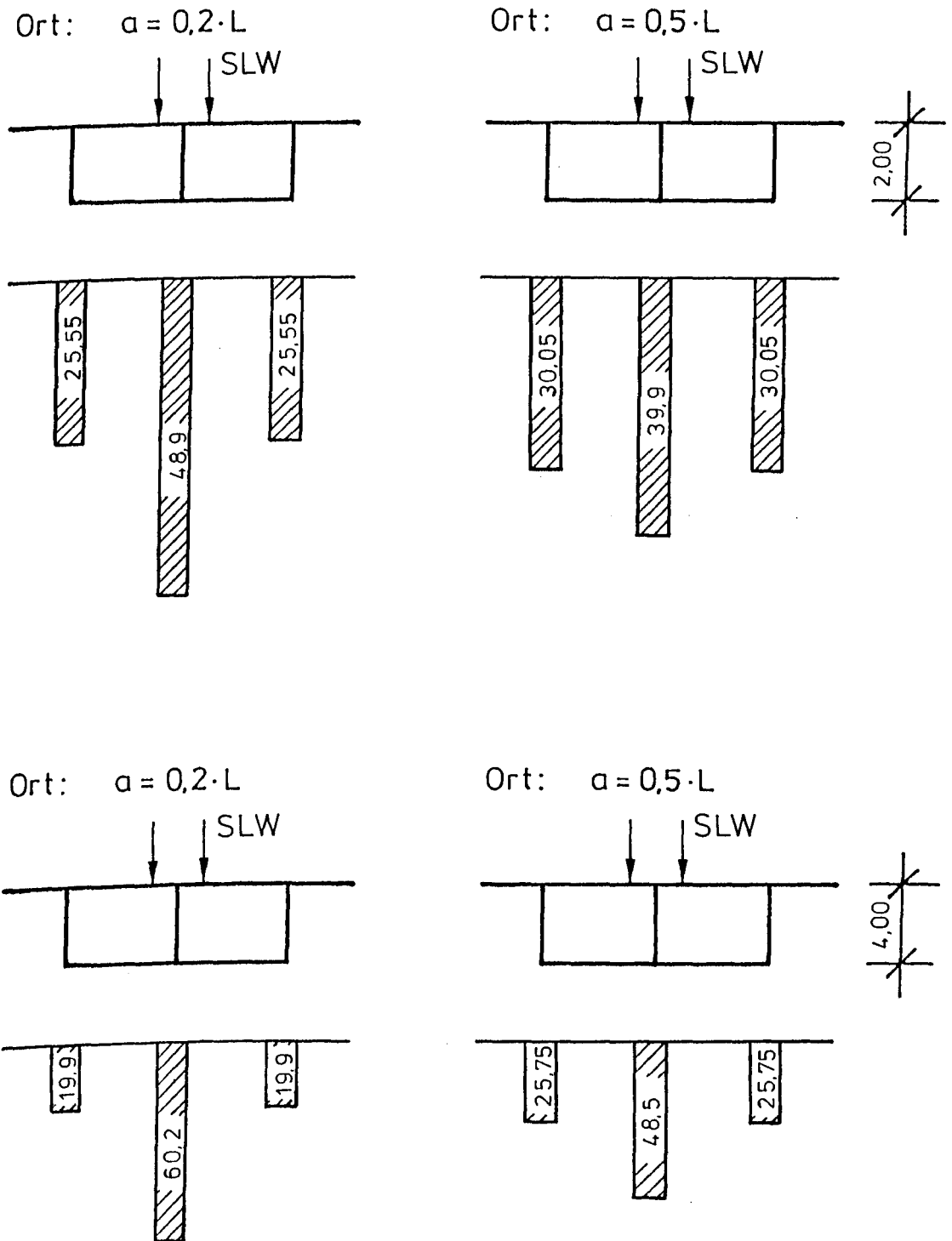


Bild 5.23 Querverteilung für den Lastfall - E - SLW auf dem Mittelsteg an diskreten Orten in Trägerlängsrichtung; $L = 45.00$ m; $h = 2.00$ m bzw. 4.00 m

5.5 Ergebnisse der Sonderuntersuchungen

Über die in Kapitel 4.4.2 beschriebenen Tastrechnungen hinaus wurden punktuell weitere mögliche Einflußparameter untersucht. Diese Berechnungen dienten der Ermittlung des erforderlichen diskreten Ersatzsystems für die FE-Berechnungen und der Eliminierung sekundärer Parameter. Die Querverteilungen wurden Ausgangsquerschnitt (Bild 4.10) über die vertikalen Durchbiegungen, wie in Kapitel 5.2 ermittelt.

Die linken Säulen unter den Stegen geben jeweils die Lastanteile des oberen Systems bzw. der linken Parameter an, während die rechten Säulen für das untere System bzw. die rechten Parameter stehen. Angegeben werden jeweils nur die Lastverteilungen in Feldmitte.

Die Reihenfolge der beschriebenen Einflußgrößen stellt keine Wertigkeit dar.

In Bild 5.24 ist deutlich der signifikante Unterschied zwischen dem gelenkig gelagerten bzw. beidseitig eingespannten Kastenträger zu erkennen. Die Lastverteilung wird wegen der Einspannung der Stege und der daraus resultierenden größeren Biegesteifigkeit in Tragwerkslängsrichtung schlechter. Dieser Verlauf der Lastverteilung wird in der Nähe der Auflager noch gravierender.

Dieses Ergebnis ist besonders interessant im Hinblick auf Handrechenverfahren zur Ermittlung der Querverteilung von einzelligen Kastenträgern (Kapitel 3) unter unsymmetrischer Belastung, die diesen ungünstigen Einfluß auf die Lastverteilung zur Erlangung von einfachen geschlossenen Lösungen meist vernachlässigen.

Der Einfluß des Lasttypes (Bild 5.25) - Eingabe einer fiktiven Einzellast bzw. von wirklichkeitsnahen Laststellungen - wirkt sich scheinbar gering mit Werten zwischen 1 und 2 % auf die Querverteilung aus. Hierbei ist jedoch zu beachten, daß der Unterschied der Feldmomente zwischen einer Einzellast und drei Einzellasten gleicher Summe im Abstand von 1.50 m zwi-

schen 10 und 15 % liegt. Diese Differenz geht bei der Multiplikation mit einem Lastverteilungsfaktor direkt in die Spannungen ein.

Im Brückenbau geht man in den letzten Jahren von extrem schlanken Tragwerken mit statisch und konstruktiv minimal erforderlichen Elementdicken ab, obwohl hier ein Konsens zwischen konstruktiv ausführbaren und wirtschaftlich vertretbaren Lösungen anzustreben ist, denn dickere Querschnitte bringen mehr Lasten aus Eigengewicht der Konstruktion, was eine Erhöhung der Vorspannkräfte - Spannstahlbedarf - nach sich zieht.

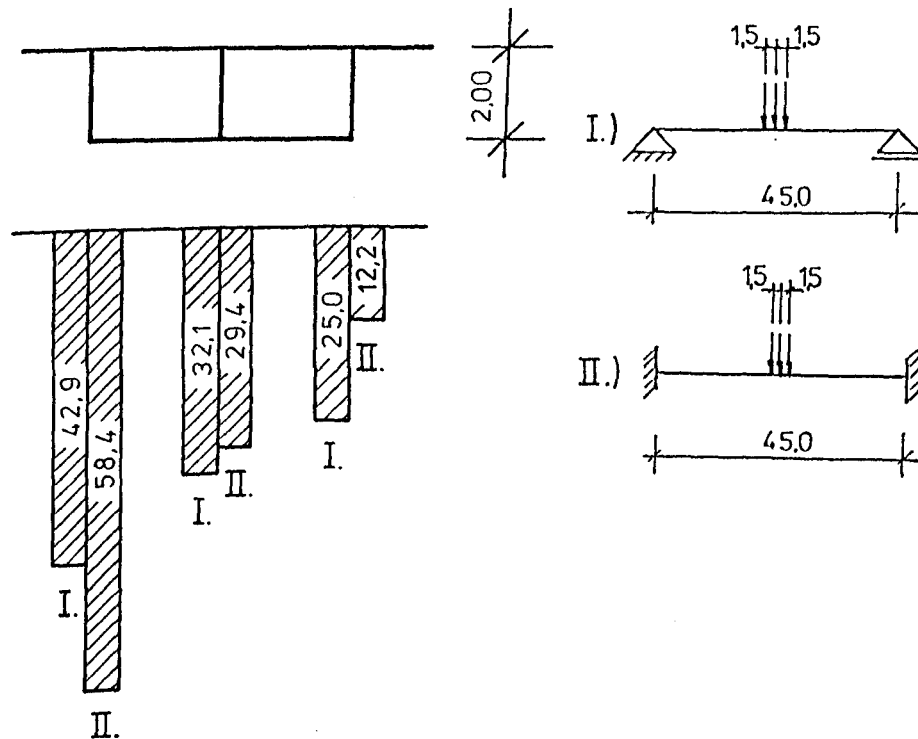
In Bild 5.26, oben, ist der Einfluß der Stegverbreiterung angegeben. Diese geringe Auswirkung auf die Lastverteilung wurde nicht erwartet, da auch die alleinige Stegverbreiterung eine Versteifung des Quertragwerks bedeutet. Erst die zusätzliche Erhöhung der Fahrbahnplatte von $t_o = 30$ cm auf $t_o = 40$ cm und der Bodenplatte von $t_u = 18$ cm auf $t_u = 30$ cm (Bild 5.26, unten) bedingte eine Versteifung des Querrahmens, die sich deutlich günstiger auf die Lastverteilung auswirkte. Die Biegesteifigkeiten der Fahrbahn- und Bodenplatten in Brückenquerrichtung sind somit von entscheidender Bedeutung für den Lastabtrag. Aus wirtschaftlichen Gründen sind der Wahl der Plattendicken jedoch sehr enge Grenzen gesetzt, so daß die hier gezeigte Tendenz ausreichend ist für weitere Überlegungen an Brückenüberbauten deren Plattendicken von den in dieser Parameterstudie untersuchten Konstruktionen abweichen. Bei dünnen Platten und dicken Stegen bildet sich über den Stegen quasi ein Gelenk aus, und durch Rotation der Platten-elemente um die Tragwerkslängsachse entziehen sich die Platten zwischen den Stegen der Lastweiterleitung durch Plattenbiegemomente.

Bei den Probelastungen von Brückenbauwerken zur Überprüfung des Lastabtrags im Bereich gerissener Koppelfugen /39/ - /41/ und /43/ - /44/ wurde vermutet, daß die unzureichende Querverteilung wesentlich durch den Übergang des Querschnittes in den Zustand II verursacht wurde. Durch Nullsetzen der Biegesteifigkeit ($EI = 0$) der Bodenplatte des Kastenträgers wurde

deshalb eine auf ganzer Tragwerkslänge gerissene Bodenplatte simuliert. Die untere Kastenplatte wirkt so zwischen den Stegen nur als Zugband zur Verformungsbehinderung der Stege. Das Quertragwerk entspricht durch Steifigkeitsänderungen einem dreistegigen Plattenbalken, deren Hauptträger zur Erhöhung ihrer Torsionssteifigkeit am unteren Ende der Stege miteinander verbunden wurden. Die Lastverteilung erfolgt somit wie beim Plattenbalken im wesentlichen über die Biegesteifigkeit der Fahrbahnplatte und die Torsionssteifigkeit der Hauptträger.

Zu erkennen ist in Bild 5.27, daß zwar eine Verschlechterung der Lastverteilung eintrat, jedoch der prozentuale Anteil - trotz der auf ganzer Tragwerkslänge "gerissener" Bodenplatte - wesentlich geringer war als der unzureichende Ansatz der gleichmäßigen Lastanteile auf alle Stege. Als weiteres Ergebnis gewinnt man die Aussage, daß nicht durch Feldquerträger ausgesteifte Hohlkastenträger im Massivbrückenbau mit ihrem Tragverhalten näher am Plattenbalken liegen als beim torsionssteifen Stab mit verwindungsfreier Zelle.

Ort: $a = 0,5 \cdot L$



Ort: $a = 0,5 \cdot L$

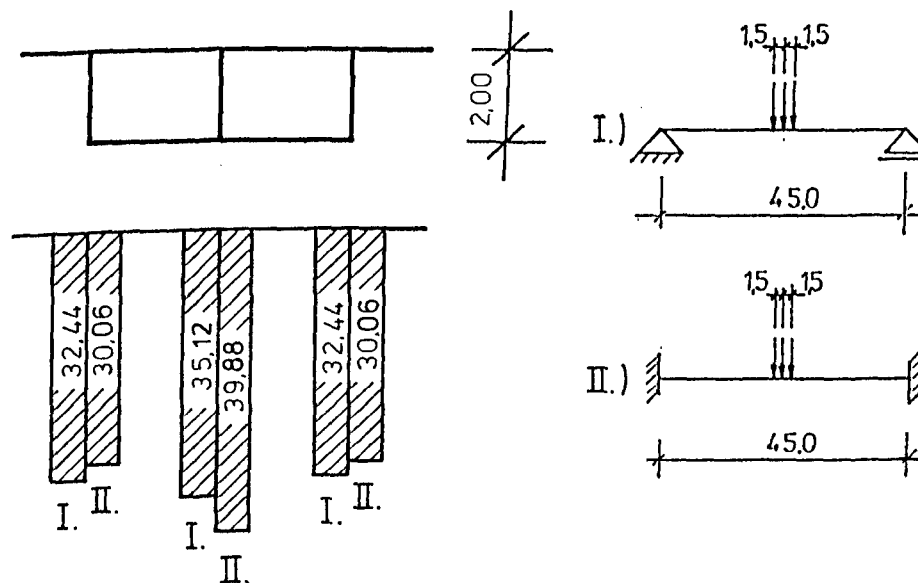
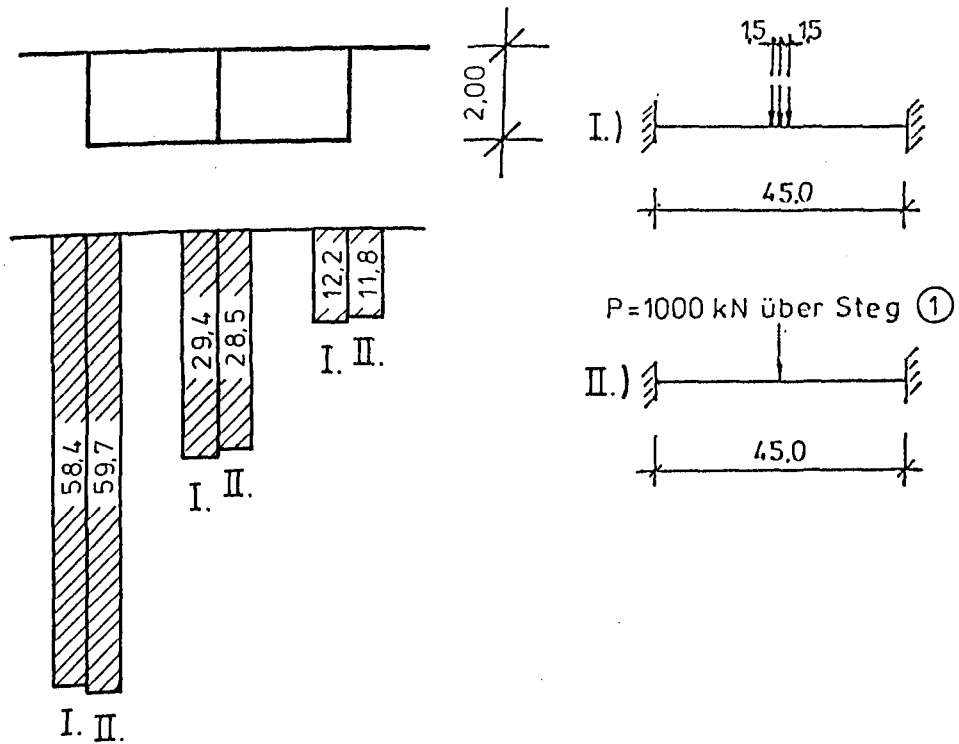


Bild 5.24 Einfluß des statischen Grundsystems auf die prozentualen Lastanteile je Steg
 Bild oben : SLW auf dem Randsteg
 Bild unten : SLW auf dem Mittelsteg

Ort: $a = 0,5 \cdot L$



Ort: $a = 0,5 \cdot L$

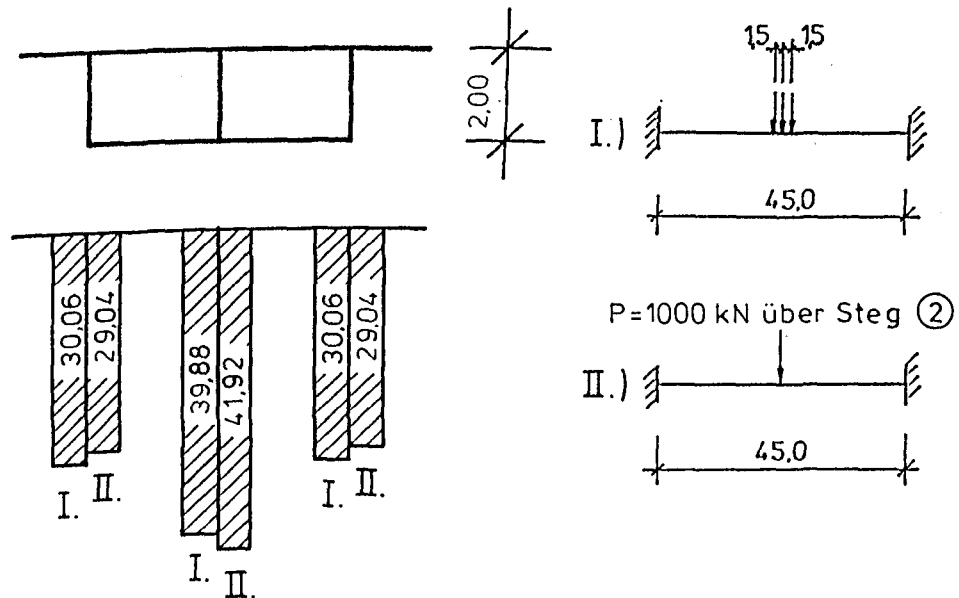
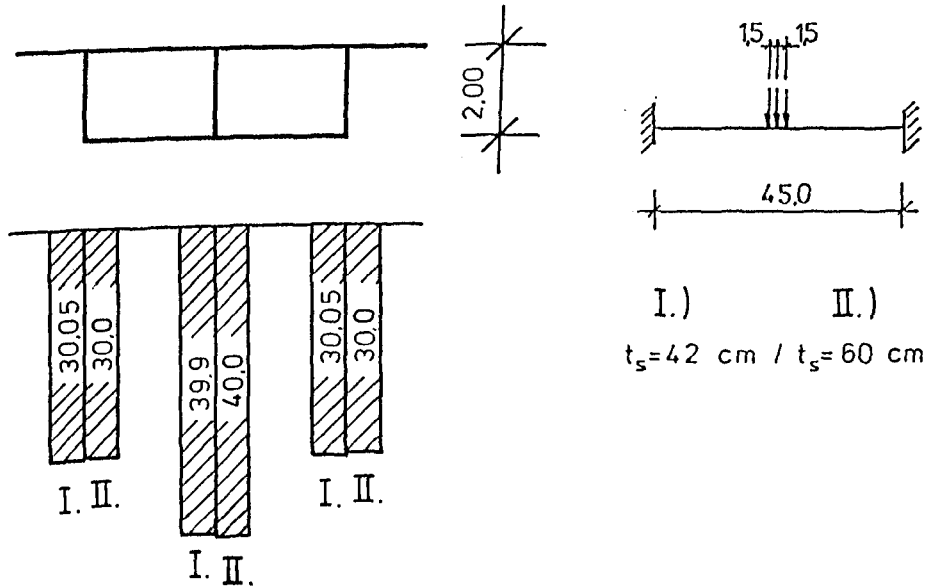


Bild 5.25 Einfluß des Lasttypes auf die prozentualen Lastanteile je Steg
 Bild oben: SLW bzw. Einzellast auf dem Randsteg
 Bild unten: SLW bzw. Einzellast auf dem Mittelst.

Ort: $a = 0,5 \cdot L$



Ort: $a = 0,5 \cdot L$

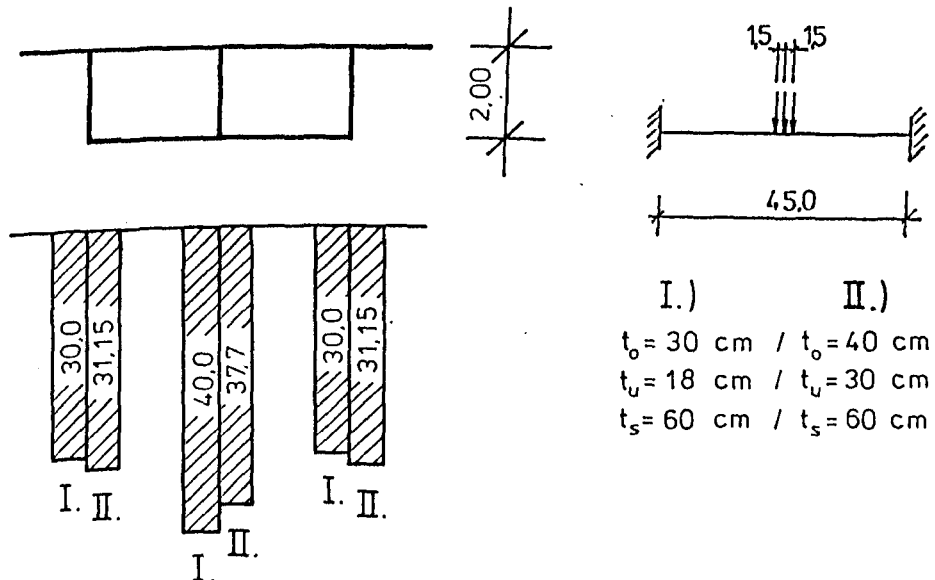
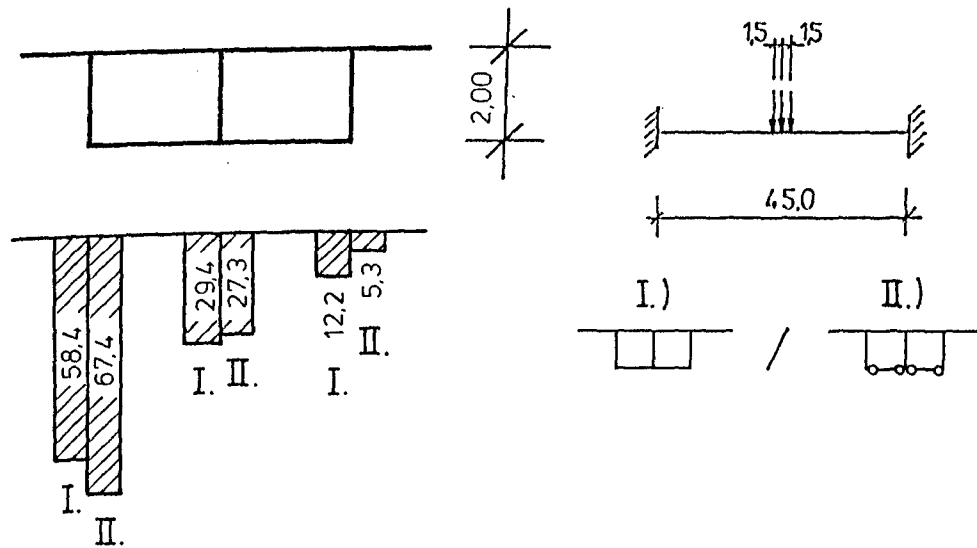


Bild 5.26 Einfluß der Konstruktionselementdicke auf die prozentualen Lastanteile je Steg
Bild oben: Variation der Stegdicke
Bild unten: Variation der Plattendicken

Ort: $a = 0,5 \cdot L$



Ort: $a = 0,5 \cdot L$

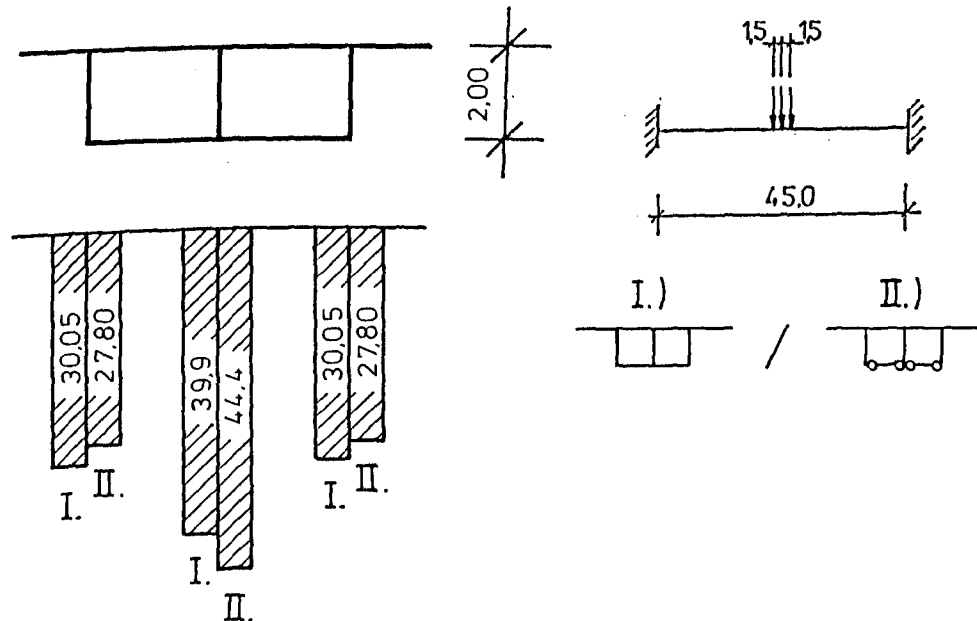


Bild 5.27 Einfluß einer "gerissenen" Bodenplatte auf die prozentualen Lastanteile je Steg
 Bild oben: SLW auf dem Randsteg
 Bild unten: SLW auf dem Mittelsteg

5.6 Verformungen

Weitere Aussagen zum Tragverhalten von zweizelligen Kastenträgern lassen sich durch Gegenüberstellung der vertikalen Verformungen der einzelnen Stege in Brückenlängsrichtung erzielen. Die unterschiedlichen Durchbiegungen der Stege setzen sich aus zwei antimetrischen und einem symmetrischen Anteil zusammen:

- Verdrehung infolge Torsion,
- Durchbiegung aus Profilverformung,
- Längsbiegung.

Der Verlauf der vertikalen Durchbiegungen in Brückenlängsrichtung ist für den Lastfall SLW auf dem Standardquerschnitt in den Bildern 5.28 und 5.29 zeichnerisch dargestellt. In Bild 5.28 ist zu erkennen, daß neben dem Einfluß der Längsbiegung (Steg 2) die Profilverformung einen erheblichen Einfluß auf die Durchbiegungen hat. Würde der Stab die Lasten nur über den Bredt'schen Torsionsschubfluß abtragen, müßten die Durchbiegungsdifferenzen zwischen den Außenstegen 1 und 3 sowie dem Mittelsteg 2 gleich sein, da dann nur eine Verdrehung des Querschnittes um den Schubmittelpunkt - der beim symmetrischen Querschnitt auf dem Mittelsteg liegt - stattfinden könnte.

In Bild 5.29, unten, ist für den auf dem Mittelsteg belasteten zweizelligen Hohlkasten eine Durchbiegungsdifferenz zwischen Außen- und Innenstegen zu erkennen. Dieser Wert müßte bei einem gleichmäßigen Lastabtrag über alle Stege gegen Null gehen. Diese Durchbiegungsdifferenzen sind auch bei örtlich angreifenden Einzellasten nicht auf endliche Trägerstücke im Bereich der Lasteneinleitung begrenzt, sondern erstrecken sich über die gesamte Stützweite.

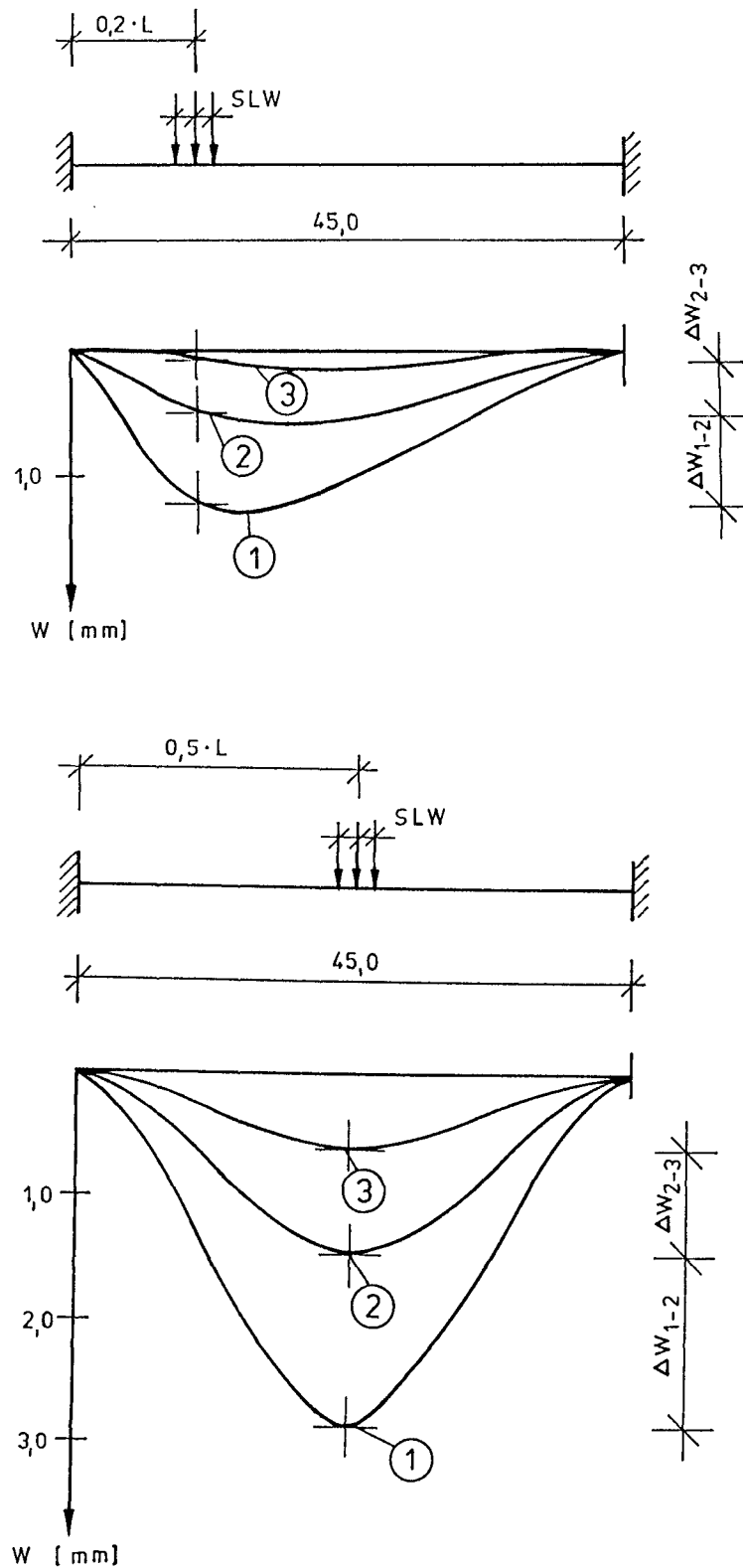


Bild 5.28 Durchbiegungen der Hauptträger unter statischen Einzellasten auf dem Randsteg für unterschiedliche Laststellungen in Tragwerkslängsrichtung; $L = 45.00 \text{ m}$; $h = 2.00 \text{ m}$

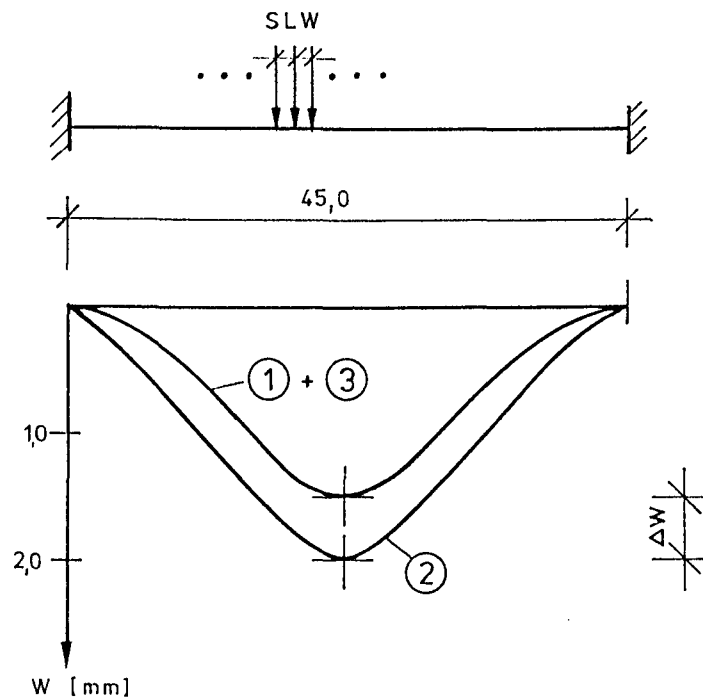
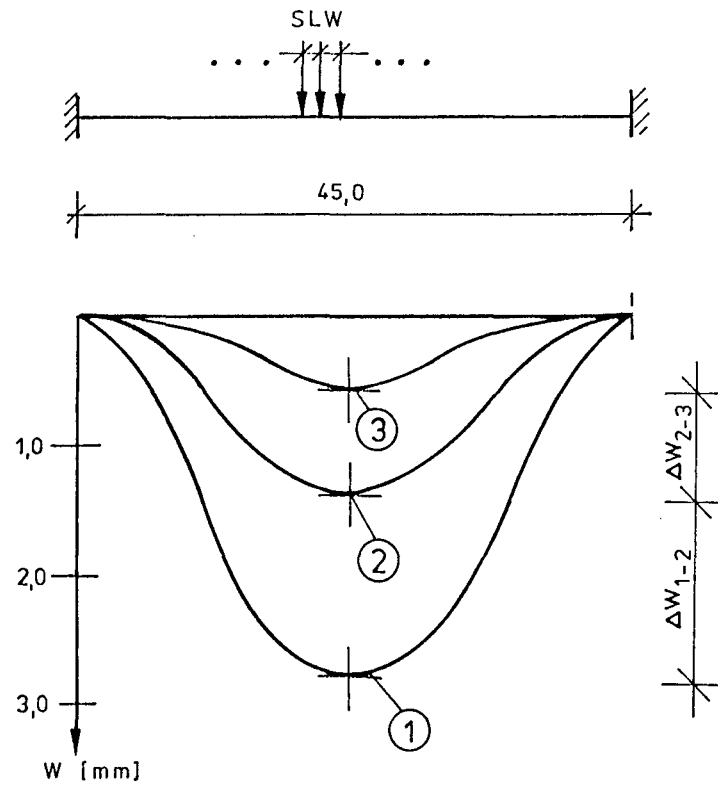


Bild 5.29 Durchbiegungen der Hauptträger unter wandernden Einzellasten auf dem Rand- und Mittelsteg;
 $L = 45.00$ m; $h = 2.00$ m

6. BEMESSUNGSNOMOGRAMME FÜR DIE UNTERSUCHTEN KASTENGEOMETRIEN IN ABHÄNGIGKEIT VON DER BELASTUNG

6.1 Allgemeines

Aus der allgemeinen Darstellung der Ergebnisse in Kapitel 5.2 wurde für jeden Lastfall pro Stützweite ein Bemessungsnomogramm entwickelt.

Auf der Abszissenachse ist der betrachtete Querschnitt in Brückenlängsrichtung aufgetragen.

Auf der Ordinatenachse findet man den Lastverteilungsfaktor α .

Die Nomogramme für den Lastfall Eigengewicht gelten wegen der geringen Abweichungen für alle untersuchten Steifigkeitszahlen $K = EIb/GIt$.

In den Nomogrammen für die Verkehrslastfälle (B bis E) erhält man die Lastverteilungsfaktoren α der d i r e k t belasteten Stege in Abhängigkeit von der Steifigkeitszahl K .

Eine lineare Interpolation ist je Lastfall sowohl zwischen den Diagrammen mit unterschiedlichen Stützweiten als auch den Steifigkeitszahlen pro Diagramm möglich. Voraussetzung bei der Anwendung der Steifigkeitszahlen auf vergleichbare Querschnitte ist ein zweizelliger Hohlkasten mit ungefähr identischen Konstruktionselementdicken und gleicher Gesamtkastenbreite.

Bei einer Interpolation zwischen benachbarten Stützweiten oder Steifigkeitszahlen beträgt der Fehler $\alpha_F = 0.01 - 0.02$ je nach Interpolationsrichtung (Stützweite bzw. Steifigkeitszahl) zur sicheren bzw. unsicheren Seite. Wird eine lineare Interpolation zwischen den Grenzwerten der Parameterstudie durchgeführt, erhält man einen Fehler α_F von $0.06 - 0.08$, das bedeutet Rechenungenauigkeiten von $6 - 8 \%$ beim Lastverteilungsfaktor α .

6.2 Nomogramme für die einzelnen Lastfälle

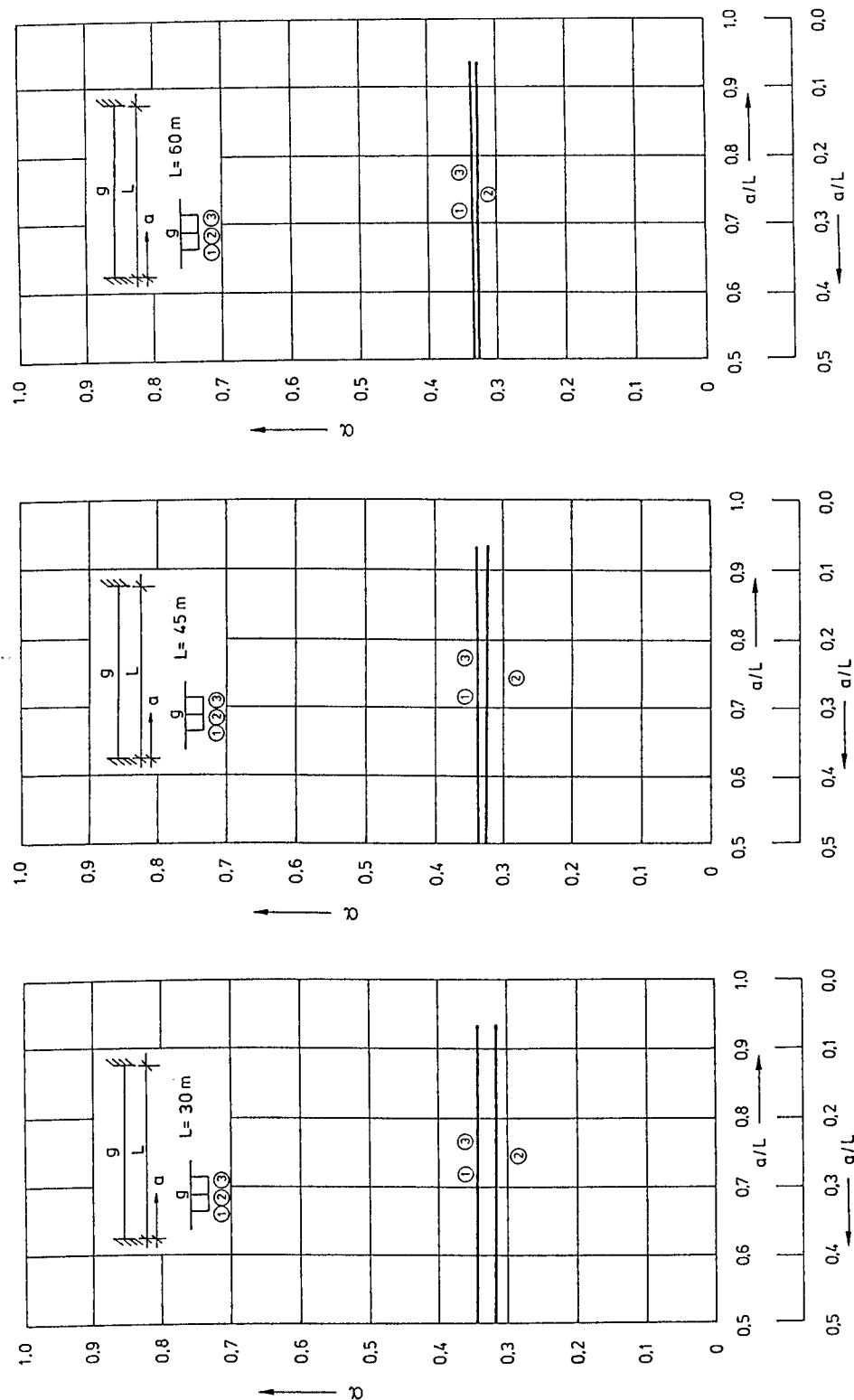


Bild 6.1 Nomogramme zur Ermittlung des Lastverteilungsfaktors α für den Lastfall - A -
Eigengewicht; L, h = variabel

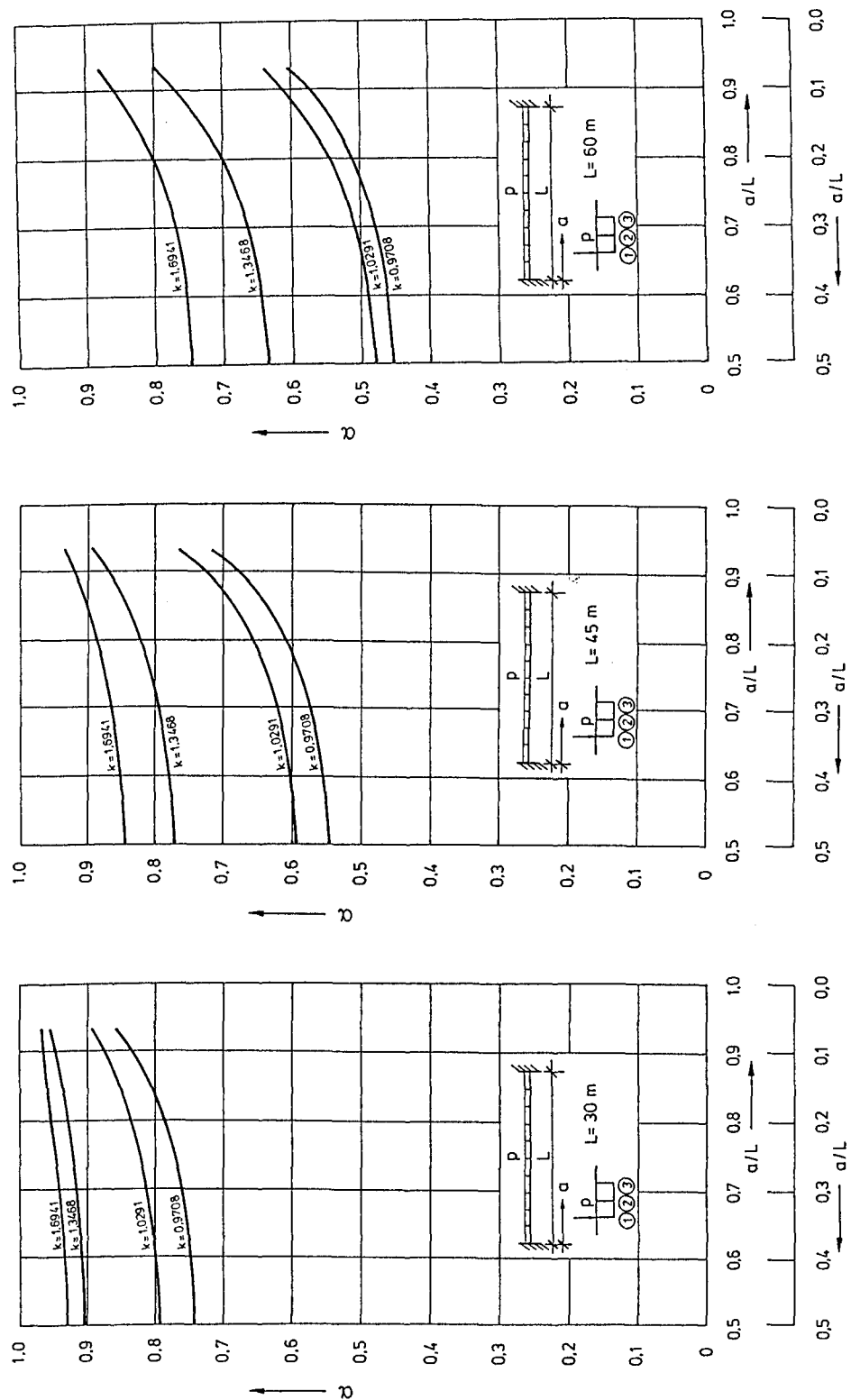


Bild 6.2 Nomogramme zur Ermittlung des Lastverteilungsfaktors α für den Lastfall - B -
Linienlast auf dem Randsteg; $L, h = \text{variabel}$

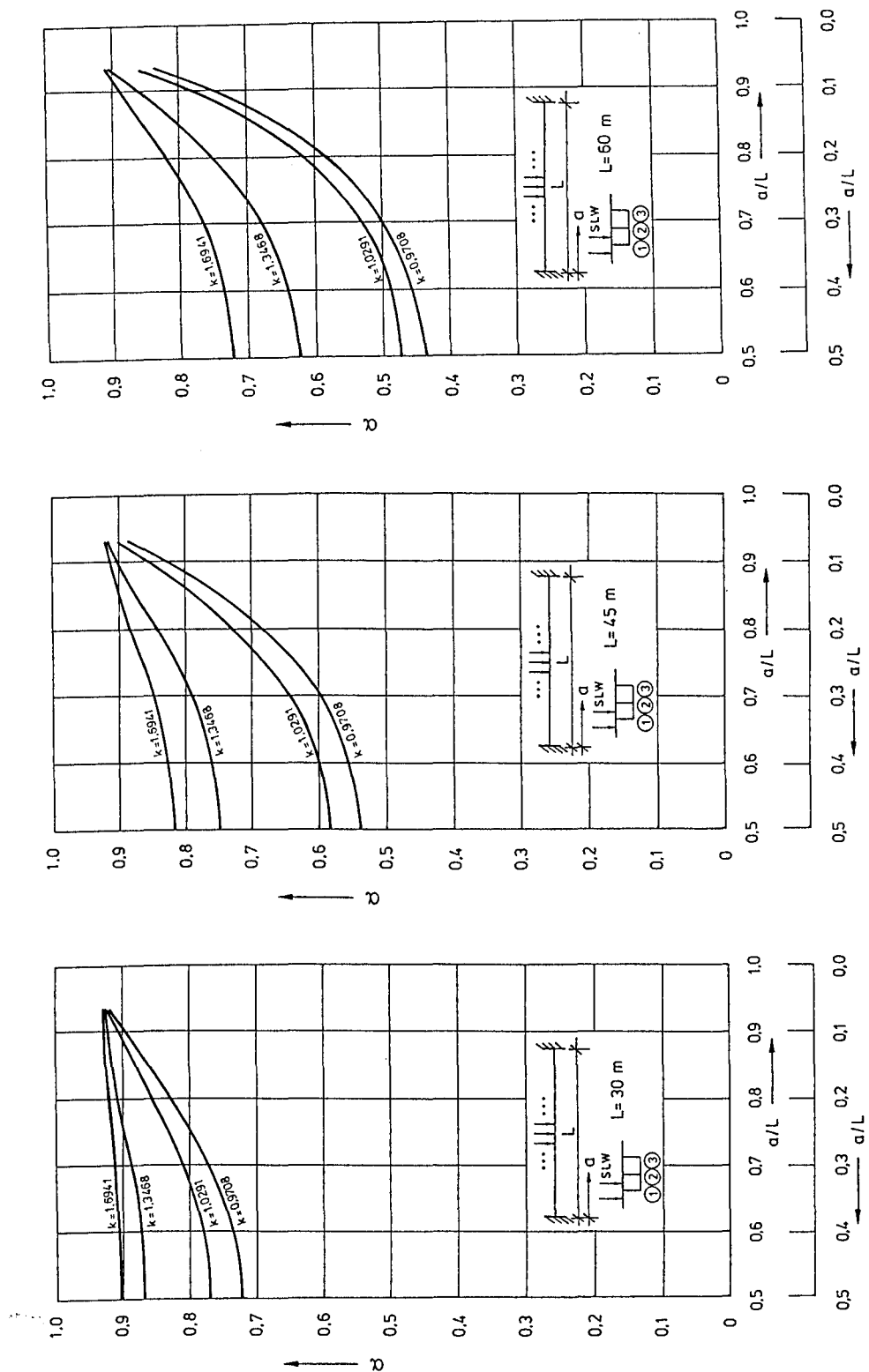


Bild 6.3 Nomogramme zur Ermittlung des Lastverteilungsfaktors α für den Lastfall - C - SLW auf dem Randsteg; L, h = variabel

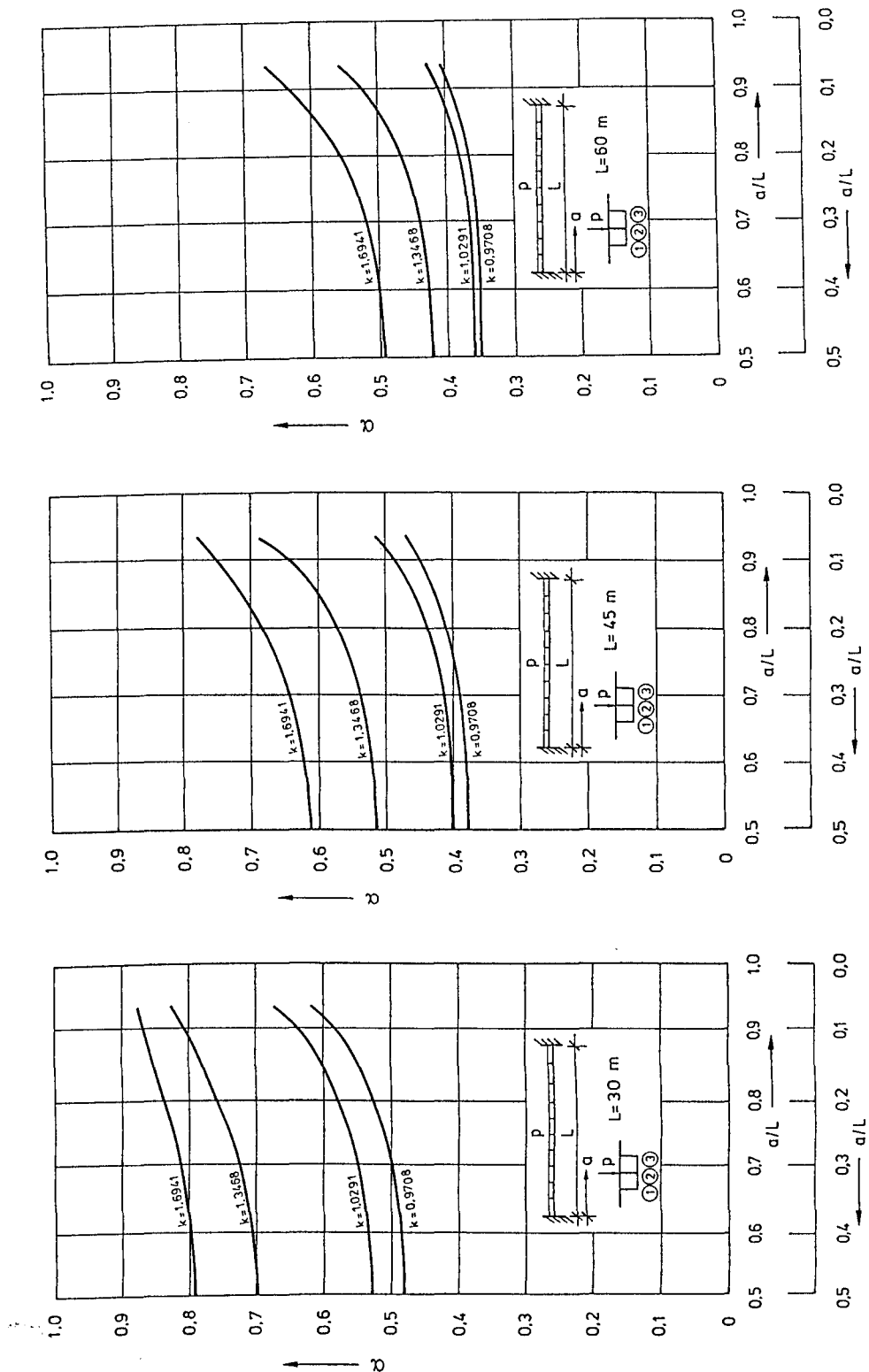


Bild 6.4 Nomogramme zur Ermittlung des Lastverteilungsfaktors α für den Lastfall - D -
Linienlast auf dem Mittelsteg; $L, h = \text{variabel}$

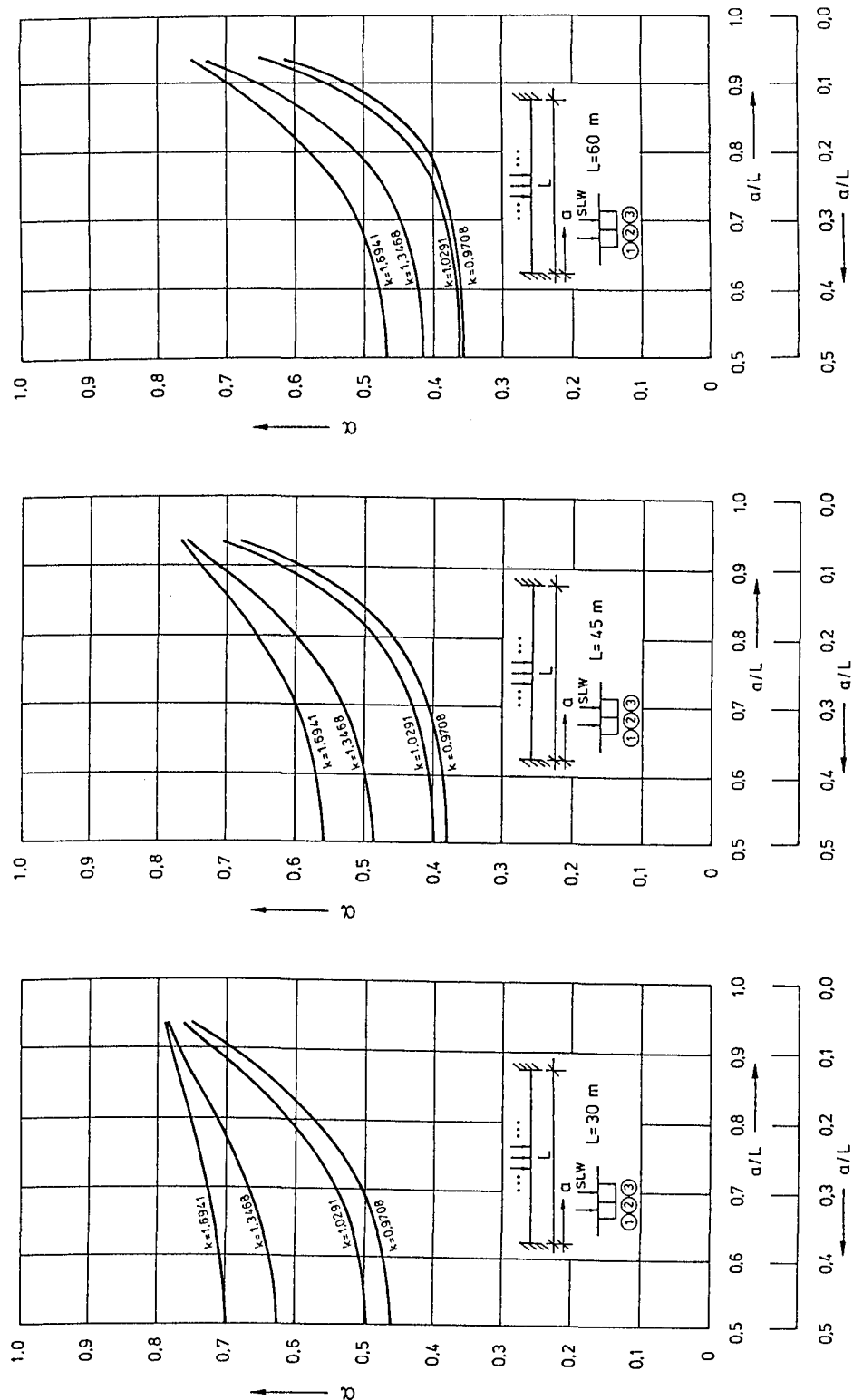


Bild 6.5 Nomogramme zur Ermittlung des Lastverteilungsfaktors α für den Lastfall - E - SLW auf dem Mittelsteg; L, h = variabel

6.3 Beispiele

6.3.1 Verdeutlichung des Rechenablaufs

Die untere Randspannung des direkt belasteten Stegs ergibt mit Hilfe der Bemessungsnomogramme und der folgenden Gleichung

$$\sigma_u = 3 \cdot \alpha \cdot \text{zug } M \cdot y_u / I_b$$

α = Lastverteilungsfaktor nach den Nomogrammen
zug M = Moment nach ebener Stabstatik
 y_u = Schwerpunktabstand vom unteren Rand
 I_b = Flächenmoment 2. Grades für den Gesamtquerschnitt

6.3.2 Kastengeometrien

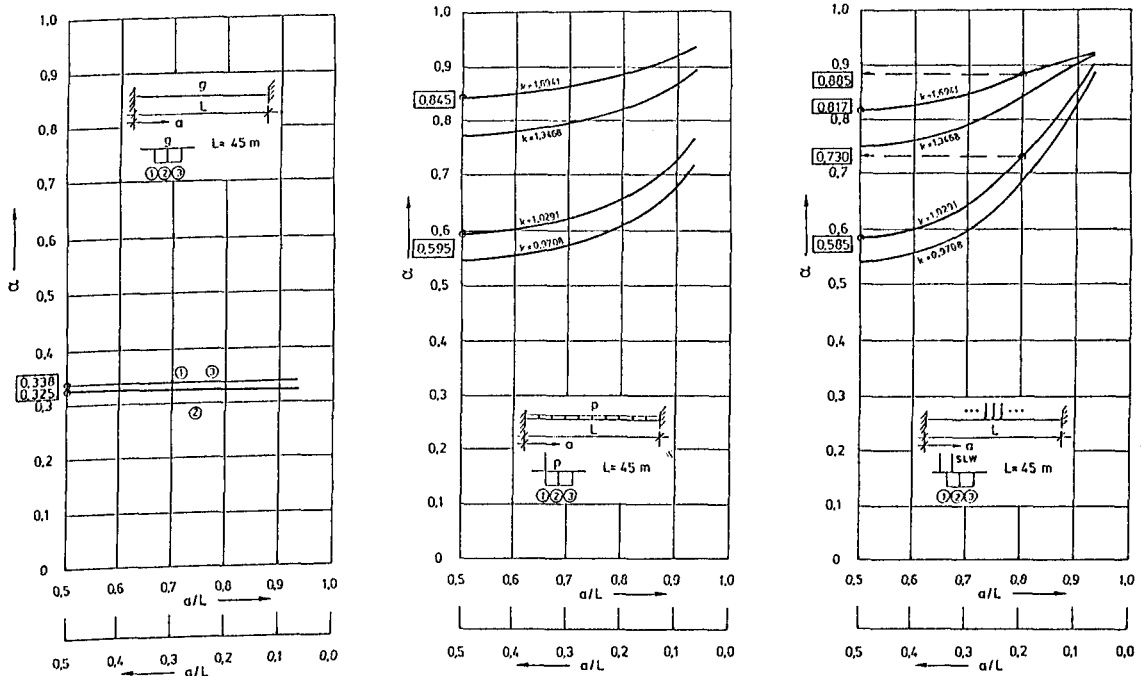
Die exemplarischen Berechnungen sind für den Standardquerschnitt (1. Kastengeometrie) mit

$$\begin{aligned} L &= 45,00 \text{ m und } h = 2,00 \text{ m} \\ \rightarrow I_b &= 5,7573 \text{ m}^4 ; y_u = 1,43 \text{ m} \end{aligned}$$

und für eine 2. Kastengeometrie ausgeführt.

$$\begin{aligned} L &= 45,00 \text{ m und } h = 6,00 \text{ m} \\ \rightarrow I_b &= 69,70 \text{ m}^4 ; y_u = 3,723 \text{ m} \end{aligned}$$

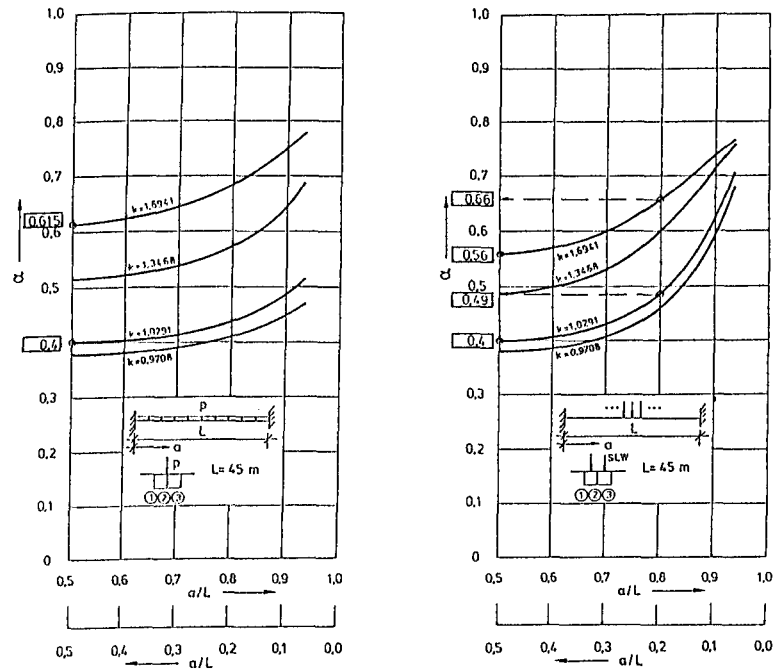
6.3.3 Ermittlung der Lastverteilungsfaktoren aus den Nomo- grammen für die 1. Kastengeometrie



Lastfall - A -

Lastfall - B -

Lastfall - C -



Lastfall - D -

Lastfall - E -

6.3.4 Ermittlung der Randspannungen

1. Kastengeometrie

Lastfall - A - Eigengewicht

Ort: Steg 1; 0.5 L

zug M = 17,56 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0,338 \cdot 17,56 \cdot 1,43/5,7573 = 4,43 \text{ MN/m}^2$$

Ort: Steg 2; 0.5 L

zug M = 17,56 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0,325 \cdot 17,56 \cdot 1,43/5,7573 = 4,25 \text{ MN/m}^2$$

Lastfall - B - Linienlast auf dem Randsteg

Ort: 0.5 L

zug M = 0,84 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0,595 \cdot 0,84 \cdot 1,43/5,7573 = 0,37 \text{ MN/m}^2$$

Lastfall - C - SLW auf dem Randsteg

Ort: 0.2 L; Laststellung: 0.2 L

zug M = 1,10 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0,73 \cdot 1,10 \cdot 1,43/5,7573 = 0,60 \text{ MN/m}^2$$

Ort: 0.5 L; Laststellung: 0.5 L

zug M = 3,09 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0,585 \cdot 3,09 \cdot 1,43/5,7573 = 1,35 \text{ MN/m}^2$$

Lastfall - D - Linienlast auf dem Mittelsteg

Ort: 0.5 L

zug M = 0,84 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0,4 \cdot 0,84 \cdot 1,43/5,7573 = 0,25 \text{ MN/m}^2$$

Lastfall - E - SLW auf dem Mittelsteg

Ort: 0.2 L; Laststellung: 0.2 L

zug M = 1,10 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0,49 \cdot 1,10 \cdot 1,43/5,7573 = 0,40 \text{ MN/m}^2$$

Ort: 0.5 L; Laststellung: 0.5 L

zug M = 3,09 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0,4 \cdot 3,09 \cdot 1,43/5,7573 = 0,92 \text{ MN/m}^2$$

2. Kastengeometrie

Lastfall - A - Eigengewicht

Ort: Steg 1; 0.5 L

zug M = 27,81 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0,338 \cdot 27,81 \cdot 3,723/69,70 = 1,51 \text{ MN/m}^2$$

Ort: Steg 2; 0.5 L

zug M = 27,81 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0,325 \cdot 27,81 \cdot 3,723/69,70 = 1,45 \text{ MN/m}^2$$

Lastfall - B - Linienlast auf dem Randsteg

Ort: 0.5 L

zug M = 0,84 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0,845 \cdot 0,84 \cdot 3,723/69,70 = 0,11 \text{ MN/m}^2$$

Lastfall - C - SLW auf dem Randsteg

Ort: 0.2 L; Laststellung: 0.2 L

zug M = 1,10 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0,885 \cdot 1,10 \cdot 3,723/69,70 = 0,16 \text{ MN/m}^2$$

Ort: 0.5 L; Laststellung: 0.5 L

zug M = 3,09 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0,817 \cdot 3,09 \cdot 3,723/69,70 = 0,41 \text{ MN/m}^2$$

Lastfall - D - Linienlast auf dem Mittelsteg

Ort: 0.5 L

zug M = 0,84 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0,615 \cdot 0,84 \cdot 3,723/69,70 = 0,08 \text{ MN/m}^2$$

Lastfall - E - SLW auf dem Mittelsteg

Ort: 0.2 L; Laststellung: 0.2 L

zug M = 1,10 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0,66 \cdot 1,10 \cdot 3,723/69,70 = 0,12 \text{ MN/m}^2$$

Ort: 0.5 L; Laststellung: 0.5 L

zug M = 3,00 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0,556 \cdot 3,09 \cdot 3,723/69,70 = 0,28 \text{ MN/m}^2$$

6.3.5 Vergleich mit der anderen Lösungen

| Steghöhe [m] | Last- fall | Last- stellung | Ort | Spannungen [MN/m ²] | | |
|-----------------|---------------|-------------------|------------|---------------------------------|------|------|
| | | | | I | II | III |
| 2.00 | A | L | Steg1;0.5L | 4.36 | 4.43 | 4.32 |
| | A | L | Steg2;0.5L | 4.36 | 4.25 | 4.09 |
| | B | L | 0.5L | 0.21 | 0.37 | 0.31 |
| | C | 0.2L | 0.2L | 0.27 | 0.60 | 0.92 |
| | C | 0.5L | 0.5L | 0.77 | 1.35 | 1.61 |
| | D | L | 0.5L | 0.21 | 0.25 | 0.21 |
| | E | 0.2L | 0.2L | 0.27 | 0.40 | 0.50 |
| | E | 0.5L | 0.5L | 0.77 | 0.92 | 1.01 |
| 6.00 | A | L | Steg1;0.5L | 1.49 | 1.51 | 1.53 |
| | A | L | Steg2;0.5L | 1.49 | 1.45 | 1.43 |
| | B | L | 0.5L | 0.05 | 0.11 | 0.11 |
| | C | 0.2L | 0.2L | 0.06 | 0.16 | 0.20 |
| | C | 0.5L | 0.5L | 0.16 | 0.41 | 0.43 |
| | D | L | 0.5L | 0.05 | 0.08 | 0.06 |
| | E | 0.2L | 0.2L | 0.06 | 0.12 | 0.12 |
| | E | 0.5L | 0.5L | 0.16 | 0.28 | 0.24 |

I : gleichmäßiger Lastabtrag
über alle Stege

II : eigener Ansatz

III : SAP V - Rechnung

6.4 Querverteilung im Bereich von Koppelfugen

Zur wirtschaftlichen Errichtung von durchlaufenden Spannbetonbrücken wird oft auf die abschnittsweise Herstellungsmöglichkeit dieser Bauwerke zurückgegriffen. Durch den mehrfachen Einsatz des Lehrgerüsts erhält man so ein kostengünstiges Bauverfahren. In den Arbeitsfugen zwischen zwei benachbarten Bauabschnitten müssen aufgrund des segmentweisen Herstellens die Spannglieder miteinander verbunden - gekoppelt - werden. Die Anordnung dieser "Koppelfugen" erfolgt im allgemeinen in der Nähe des Momentennullpunkts für den Lastfall Eigengewicht.

Diese Lage der Koppelfuge in Brückenlängsrichtung hat statische und konstruktive Gründe. Die Biegemomente im Momentennullpunkt sind klein im Verhältnis zu den Stütz- bzw. Feldmomenten, treten aber am Gesamtbauwerk sowohl infolge ungleichmäßiger Eigengewichtsverteilung als auch infolge wandernder Verkehrslasten mit wechselndem Vorzeichen auf. Gleichzeitig darf der Kragarm zur Befestigung einer Vorschubrüstung nicht zu lang werden, da sonst ungünstigerweise Bauzustände für die Bemessung des Tragwerks maßgebend werden. Der mögliche Bereich zur Anordnung von Koppelfugen liegt demzufolge bei 0.1 bis 0.2 L der Stützweite.

In den Bildern 6.6 und 6.7 sind diese Bereiche für die Lastfälle Schwerlastwagen (SLW) auf dem Rand- und Mittelsteg schraffiert gekennzeichnet. Die Veränderungen des Lastverteilungsfaktors α in dem Bereich von 0.1 bis 0.2 L betragen bis zu 20 % und weichen bis 100 % vom Lastverteilungsfaktor in Feldmitte ab.

Die Nichtbeachtung dieses Tragverhaltens von Hohlkästen im Bereich von Koppelfugen und die daraus resultierenden Spannungserhöhungen haben neben den bisher bekannten Ursachen sicher erheblich dazu beigetragen, daß in früheren Jahren in extrem vielen Koppelfugen Risse auftraten.

Bild 6.6

Lastverteilungsfaktoren α im Bereich von Koppelfugen (schraffierte Fläche) für SLW - Belastung auf dem Randsteg in Abhängigkeit von der Kastensteifigkeit

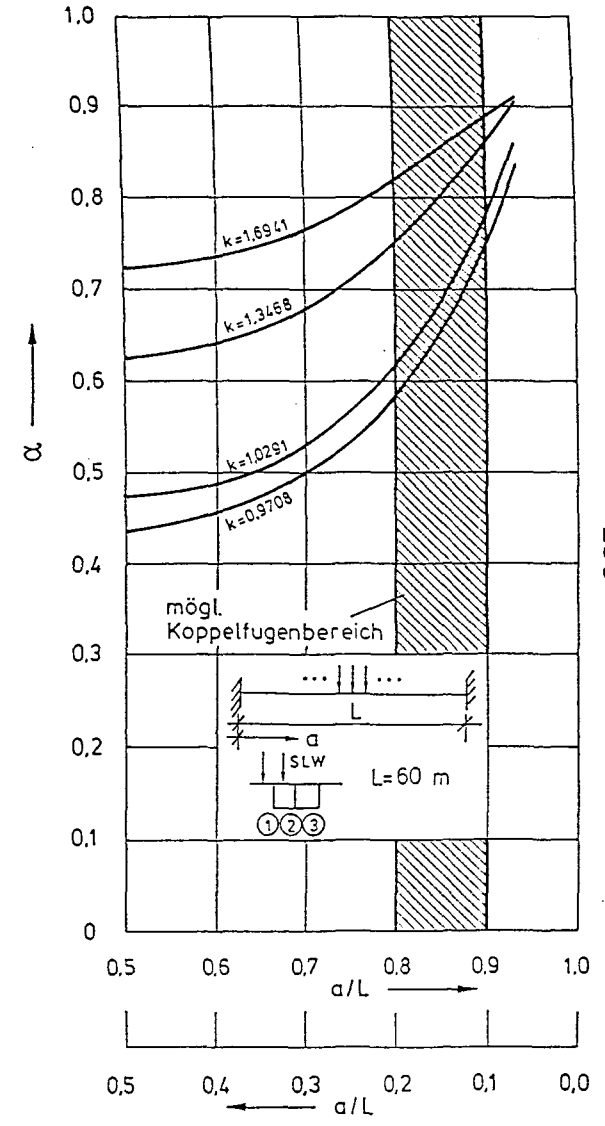
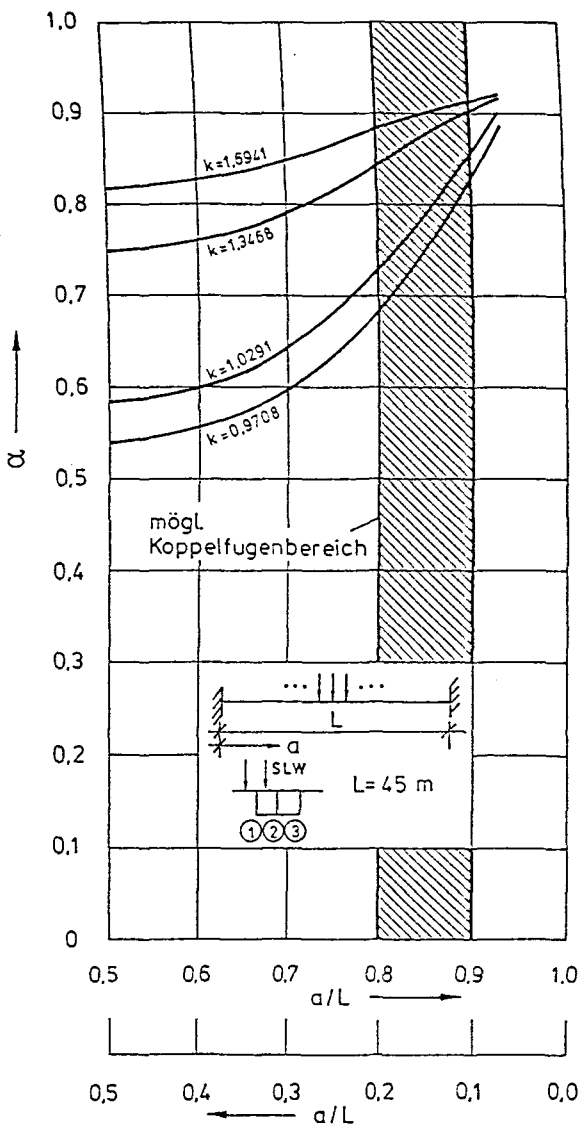
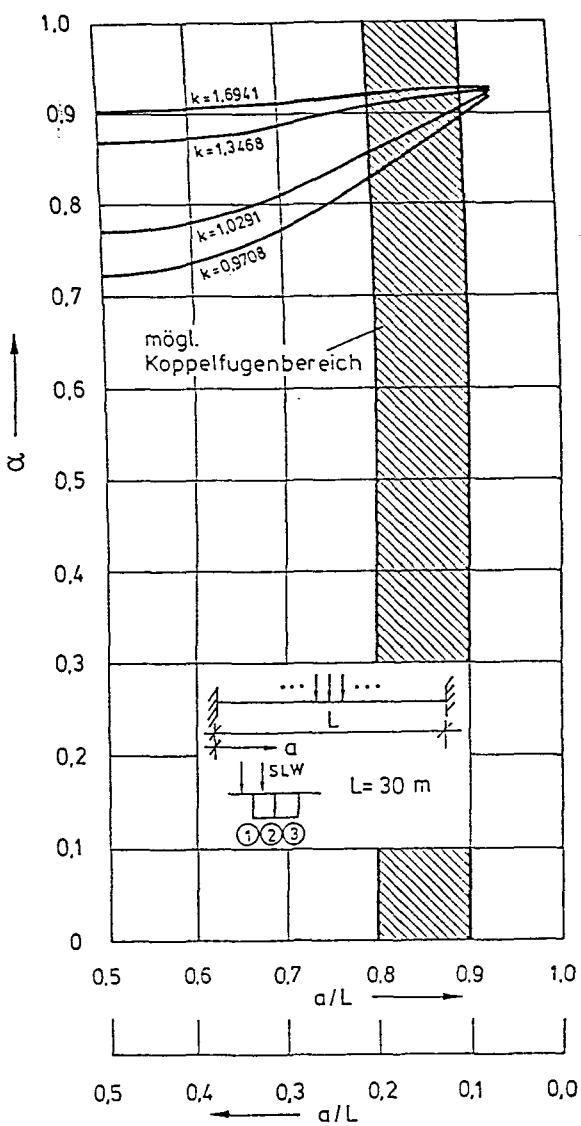
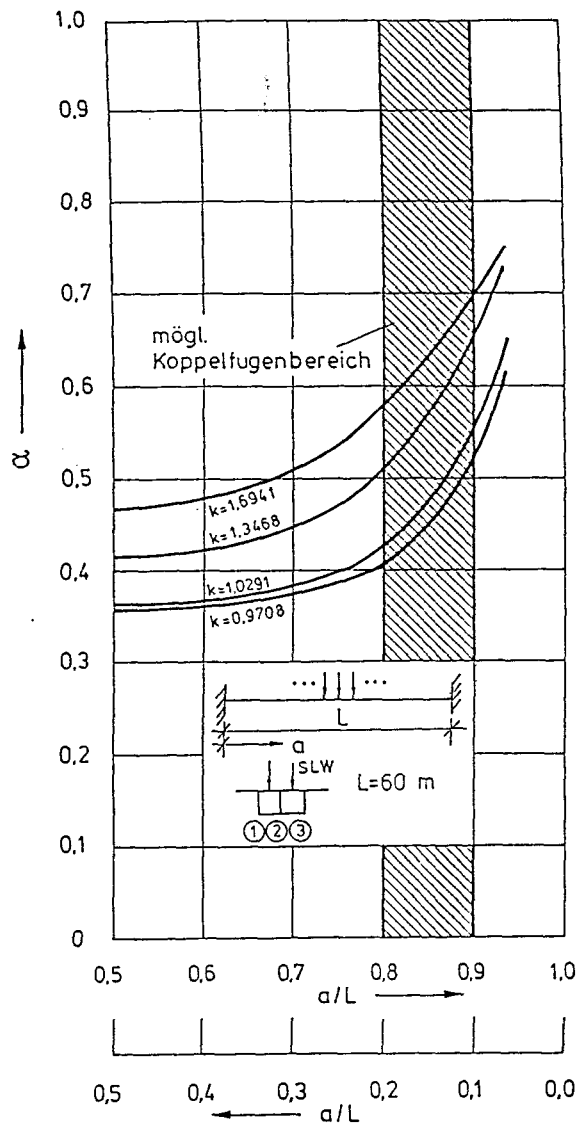
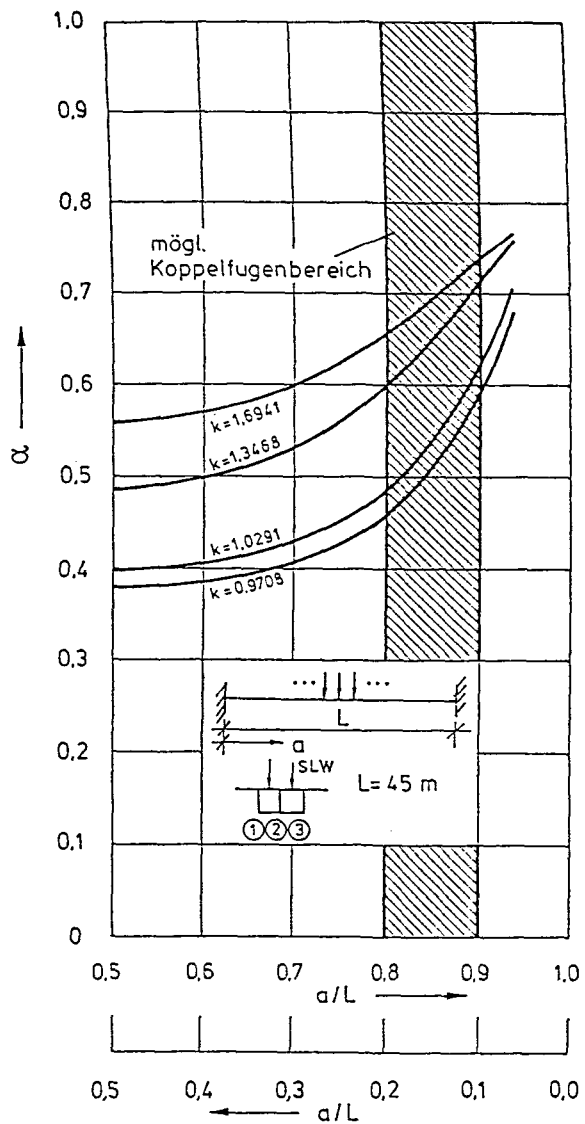
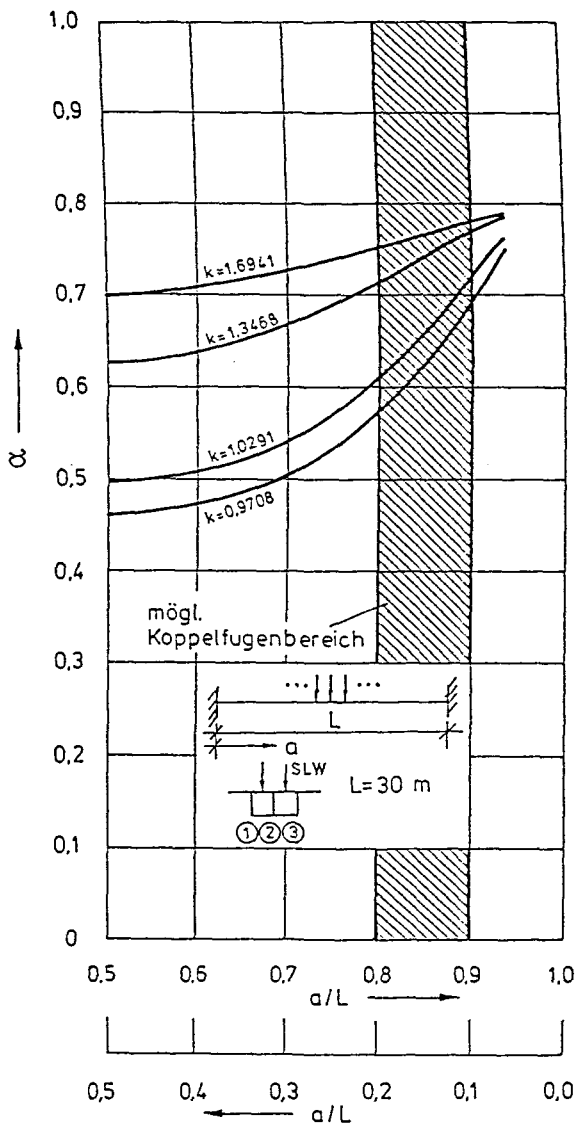


Bild 6.7 Lastverteilungsfaktoren α im Bereich von Koppelfugen (schraffierte Fläche) für SLW - Belastung auf dem Mittelsteg in Abhängigkeit von der Ka-
stensteifigkeit



7. SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DEN ERHALTENEN ERGEBNISSEN

Die dargestellten Lösungen bieten eine wertvolle Hilfe für die wirtschaftliche Berechnung der Querverteilung von zweizelligen Hohlkastenträgern im Entwurfsstadium und die einfache Prüfung komplexer aufwendiger Ausführungsberechnungen unter Berücksichtigung normenspezifischer Lasten von Brückentragwerken.

Mit dem Hinweis auf den prozentualen Anteil des Verkehrslastmoments am Gesamtmoment wird häufig auf eine genauere Untersuchung der Querverteilung bei Brücken verzichtet. Der Bericht zeigt, daß die Querverteilung der symmetrisch und unsymmetrisch angreifenden Verkehrslasten beim zweizelligen Hohlkastenträger für die untersuchten Geometrien wesentlich ungünstiger ist als bei dem üblicherweise getroffenen Ansatz des torsionssteifen Kastens.

Das Tragverhalten des nicht durch Feldquerträger ausgesteiften Kastenträgers im Massivbrückenbau mit wirtschaftlich vertretbaren Konstruktionselementdicken liegt für Verkehrslasten näher am Plattenbalken als beim torsionssteifen Stab mit verwindungsfreier Zelle.

Beim mehrzelligen Kastenträger treten im Gegensatz zum einzelligen Kastenträger auch bei symmetrischen Verkehrslasten Zusatzspannungen aus Faltwerkswirkung und Profilverformung auf, die in Teilbereichen die gleiche Größenordnung wie die Längsspannungen aus Biegebeanspruchung erreichen.

Die in der Norm DIN 1075, Abschnitt 5.3, erlaubten Idealisierungen liegen z.T. erheblich auf der unsicheren Seite.

Die Querverteilung ist besser, je steifer das Quertragwerk - bestehend aus dem Zweipunktquerschnitt Fahrbahn- und Bodenplatte - ausgebildet ist. Die Erhöhung der Stegdicke - Verbesserung des Einspanngrads der Platten - hat vernachlässigbaren Einfluß auf die Querverteilung.

Eine Versteifung des Quertragwerks durch Erhöhung der Platten- und Scheibendicken bewirkt eine Verbesserung der Lastverteilung; sie ist aber - bezogen auf das Gesamtbauwerk - nur selten sinnvoll. Die Nachteile, die durch eine Verdickung der Steg- und Plattenelemente in Kauf genommen werden, sind erheblich. Durch die Erhöhung der Quertragwerkssteifigkeit erfolgt gleichzeitig eine Erhöhung der Steifigkeit in Tragwerkslängsrichtung. Für die Bemessung der Verkehrslastfälle ist diese Maßnahme günstig, jedoch nicht für den Lastfall Eigengewicht und keinesfalls für Zwangsschnittgrößen aus Stützensenkung sowie Temperatur bei statisch unbestimmter Lagerung.

Die Längsbiegesteifigkeit der Hohlkastenstege - bei konstanter Kastenbreite im wesentlichen abhängig von der Kastenhöhe - ist für die Querverteilung maßgebend, denn bei steifen Längsträgern sind die absoluten Durchbiegungen der Stege kleiner. Bei zusätzlich "weichem" Quertragwerk fehlen dann die zur Aktivierung der Querbiegemomente aus Profilverformung erforderlichen Verformungen, um die nicht direkt belasteten Stege mit zum Tragen heranzuziehen. Der Lastabtrag erfolgt dann hauptsächlich über den direkt belasteten Steg in Tragwerkslängsrichtung bei nur geringer Querverteilung der Lasten zu den nicht direkt belasteten Stegen. Einer Verminderung der Kastenhöhe sind infolge konstruktiver Grenzen - ausführbare Biegeschlankheiten - natürliche Grenzen gesetzt.

Beim Vergleich des qualitativen Verlaufs entlang der Tragwerkslängsachse zeigten sich Gemeinsamkeiten zwischen den Lastfällen Linienlast und Schwerlastwagen, wenngleich sich die Lastverteilungsfaktoren in ihrer absoluten Größe unterscheiden. Die Querverteilung wird in allen Fällen zur Feldmitte hin besser. Der Einfluß der direkten Lagerung und der Einspannung macht sich ab ca. 0.3 L durch starken Anstieg des Lastverteilungsfaktors in Richtung des Auflagers - Verschlechterung der Querverteilung - bemerkbar.

Ganz besondere Bedeutung gewinnen die in diesem Bericht ermittelten Lastverteilungsfaktoren α im Bereich des Momentennullpunkts für den Lastfall Eigengewicht. In diesem Bereich

werden die Koppelfugen bei abschnittsweise hergestellten Brücken angeordnet. Die Fehleinschätzung des Tragverhaltens hat durch ungünstige Überlagerungen mit weiteren Problemen dieser Sonderkonstruktionen zu umfangreichen Rissen in Koppelfugen geführt. Der Querschnitt hat durch Kopplung der Spannglieder und dem damit verbundenen örtlichen Abfall der Vorspannkraft durch größeren Stahlquerschnitt in der Koppelsonstruktion gegenüber dem Spannglied im übrigen Brückenbereich sowie der niedrigeren Betonzugfestigkeit durch Anbetonieren des nächsten Bauabschnitts generell eine geringere Steifigkeit als die übrigen Brückenquerschnitte.

Bei Ansatz der in diesem Bericht ermittelten wirklichkeitsnahen Querverteilung der Lasten sind die Spannungen im Mittelsteg an der Längstragwerksunterseite eines zweizelligen Hohlkastens wesentlich größer als nach dem bisher üblichen Ansatz des gleichmäßigen Lastabtrags über alle drei Stege.

Die Erhöhung der Längsnormalspannungen infolge Profilverformung schlägt auf die gesamte Beanspruchung des Querschnitts erheblich durch.

Die Ermittlung des Verlaufes der Querverteilung bei Übergang von Teilen der Konstruktion in den Zustand II (gerissenes Bauteil) ergab, daß diese Abweichungen gering sind gegenüber dem unzureichenden Ansatz für den Querlastabtrag im Zustand I.

Zusammenfassend ergibt sich, daß eine Verbesserung der Querverteilung von Verkehrslasten durch verschiedene Maßnahmen möglich ist; eine annähernd gleichmäßige Verteilung der Lasten auf alle Stege läßt sich jedoch im praxisrelevanten Bereich ohne Feldquerträger nicht erzielen.

Der Lastfall Eigengewicht zeigt für die hier untersuchten ausgewogenen Querschnittsformen - im Vergleich zu den Lastfällen Linienlast und SLW - keine signifikanten Änderungen der Lastverteilung entlang der Tragwerkslängsrichtung. Für ausgewogene Querschnitte erfolgt ein gleichmäßiger Lastabtrag über alle Stege. Dieser Ansatz kann sich jedoch im Groß-

brückenbau erheblich ändern. Das Verhältnis Eigengewicht zur Verkehrslast wächst mit zunehmender Stützweite. Durch kleine Lastverteilungsdifferenzen treten infolge großer Eigengewichtslasten erhebliche Überbeanspruchungen einzelner Tragwerksteile auf. Die Tragwerksgeometrie - Kragplattenlänge, Kastenbreite, Kastenhöhe - sowie die Änderung der Biegesteifigkeit der Stege in Brückenlängsrichtung und die Lagerungsbedingungen sollten daher so aufeinander abgestimmt sein, daß der ständig wirkende Lastfall Eigengewicht keine Lastverteilungsdifferenzen erzeugt. Systematische Untersuchungen hierzu bleiben weiteren Forschungen offen.

Ebenso bleibt der Einfluß der im Grundriß stark gekrümmten Brückengradienten weiteren Forschungsvorhaben vorbehalten.

8. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurde die Querverteilung von symmetrischen und unsymmetrischen Eigen- und Verkehrslasten auf zweizellige Hohlkastenträger für praxisgerechte Geometrien und Belastungen untersucht. Die Ergebnisse zeigen, daß der Einfluß der Profilverformung keineswegs vernachlässigbar ist.

Mit Hilfe der graphischen Darstellungen und der hierzu entwickelten Berechnungsverfahren ist es möglich, den Einfluß der Profilverformung, wie er nach DIN 1075 "Betonbrücken; Bemessung und Ausführung" (April 1987) gefordert wird, ohne großen Aufwand abzuschätzen. Die Einheitslastfälle wurden so gewählt, daß die gemäß DIN 1072 "Straßen- und Wegbrücken" (Dezember 1985) erforderlichen Verkehrsregellasten bei Berücksichtigung eines entsprechenden Lastverteilungsfaktors α erfaßt werden.

Durch Ermittlung des Verlaufes der Querverteilung in Brückenlängsrichtung konnte gezeigt werden, daß die zusätzlichen Biegenormalspannungen aus Profilverformungen im Bereich 0.1 bis 0.3 L auf die Gesamtbeanspruchung durchschlagen. In diesem Bereich befinden sich bei abschnittsweise hergestellten Brücken üblicherweise die Koppelfugen. Die ungenügende Beachtung der Zusatzspannungen aus Profilverformung ist eine bisher zu wenig beachtete Teilursache für die beobachteten Schäden an Koppelfugen.

Bestätigt wurden mit dieser Studie auch die Ergebnisse in situ durchgeführte Probelastungen diverser Brückenbauwerke von König /39/ - /41/ und Kordina /43/, /44/, für die bisher noch keine ausreichenden theoretischen Überprüfungen vorlagen.

9. LITERATURVERZEICHNIS

- / 1/ Alam, K.M.A; Hongladaromp, T.; Lee, S.L.
Curved Box Girder Bridges with Intermediate Diaphragms
and Supports
IVBH-Abhandlungen, 33-II/1973, S. 17 - 36

- / 2/ Bachmann, H.; Horisberger, W.
The Collapse and Reconstruction of a Prestressed Concrete Box-Section Girder
IABSE-PROCEEDINGS 10/77, S. 1 -19

- / 3/ Bathe, K.-J.
Finite-Elemente-Methoden
Berlin: Springer-Verlag 1986

- / 4/ Bathe, K.-J.; Wilson, E.L.; Peterson, F.E.
SAP IV A Structural Analysis Programm for Static and Dynamic Response of Liner Systems
University of California, Berkley, Report No. EERC 73-11, June 1973

- / 5/ Bakht, B. Jaeger, L.G.; Cheung M.S.
Cellular and Voided Slab Bridges
Proc. of the Amer. Soc. of Civ. Eng. (ASCE), 9/1981, S. 1797 - 1813

- / 6/ Borck, H.-G.; Wittfoht, H.
Die Brücke Volmetalstraße in Hagen
Beton- und Stahlbetonbau 11/1979, S. 265 - 271

- / 7/ Bornscheuer, F.W.
Systematische Darstellung des Biege- und Verdrehvorganges unter besonderer Berücksichtigung der Wölbkraft-torsion
Stahlbau 1/1952, S. 1 - 9

- / 8/ Bornscheuer, F.W.
Beispiel und Formelsammlung zur Spannungsberechnung dünnwandiger Stäbe mit wölbbehindertem Querschnitt
Stahlbau 12/1952, S. 225 -232; 2/1953, S. 32 - 44

- / 9/ Castrillón, E.A:
Beitrag zur Berechnung langer dünnwandiger dreizelliger
Träger unter Berücksichtigung der Profilverformung
Dissertation, Universität Stuttgart, 1975

- / 10/ Cheung, M.S.; Cheung, Y. K.
Analysis of Curved Box-Girder Bridges by Finite Strip
Method
IVBH-Abhandlung, 31-I/1971

- / 11/ Cheung, Y.K.; Cheung, M.S.
Free Vibration of Curved and Straight Beam-Slab or Box-
Girder-Bridges
IVBH-Abhandlungen 32-II/1972, S. 41 - 52

- / 12/ Cheung, M.S.
Analysis of box girder bridges by grillage and ortho-
tropic plate methods
Canadian Journal of Civ. Eng. 9/1982, S. 595 - 601

- / 13/ Clough, R.W.; Felippa, C.A.
A Refined Quadrilateral Element for Analysis of Plate
Bending
Proceedings 2nd Conference on Matrix Methods in Struc-
tural Mechanics, Wright Patterson, AFB, Ohio, 1968

- / 14/ Dabrowski, R.
Der Schubverformungseinfluß auf die Wölbkrafttorsion
der Kastenträger mit verformbaren biegesteifem Profil
Bauingenieur 11/1965, S. 444 - 449

- / 15/ Dauner, H.-G.
Zur Berechnung des dünnwandigen Trapezkastenprofils
ohne Querschotte als biegesteifes Faltwerk
Dissertation, TH Stuttgart, 1967

- / 16/ Dittler, J.
Querbiegung und Profilverformung des ein- und zwei-
zelligen Hohlkastens (unter Berücksichtigung der Schei-
benwirkung der Gurte)
Bauingenieur 10/1980, S. 317 - 321

- / 17/ Eibl, J.; Pelle, K.
Zur Schnittgrößenermittlung des schiefen, einzelligen
Hohlkastens im Betonbrückenbau
Forschungsbeiträge für die Baupraxis, S. 183 - 201
Berlin: W. Ernst u. Sohn 1979

- / 18/ Eibl, J.; Ivanyi, G.
Ermittlung der Querbiegung von Druckplatten gevouteter
Hohlkastenträger
Bautechnik 4/1971, S. 113 - 118

- / 19/ Eßlinger, M.
Deformationen und Spannungen eines torsionsbeanspruch-
ten Kastenträgers, der an den Krafteinleitungsstellen
keine Querschotte hat
Stahlbau 7/1956, S. 164 - 166

- / 20/ Ewald, G.
Zur Tragwirkung und Bemessung von Kastenträgern unter
Berücksichtigung wirklichkeitsnahen Werkstoffverhaltens
Beton- und Stahlbetonbau 12/1982, S. 301 - 305

- / 21/ Fillo, L.; Tesár, A.
Parametrická štúdiá Tenkostenných Komorových Prútov
Stavebnický Casopis 1978, S. 749 - 759

- / 22/ Gallagher, R. H.
Finite-Element-Analysis
Berlin, Heidelberg, New York; Springer-Verlag 1976

- / 23/ Glahn, H.
Die Berechnung der Profilverformung symmetrischer, ein-
zelliger Kastenträger mit in Längs- und Querrichtung
veränderlichen Querschnittsverhältnissen
Beton- und Stahlbetonbau 1/1980, S. 5 - 9

- / 24/ Goschy, B.
Der Kastenträger ohne Zwischenschotte, Berechnung auf
Torsion
Bautechnik 5/1966, S. 159 - 163

- / 25/ Haser, H.
Zur Berechnung und Bemessung von Kastenträgerbrücken
Die Straße 2/1980, S. 56 - 61
- / 26/ Haß, B.
Die vereinfachte Berechnung der Lastverteilung sehr
drillsteifer Brücken (Hohlkästen)
Bauingenieur 4/1965, S. 166 - 168
- / 27/ Hees, G.
Querschnittsverformungen des einzelligen Kastenträgers
mit vier Wänden in einer zur Wölbkrafttorsion analogen
Darstellung
Bautechnik 11/1971, S. 370 - 376
Bautechnik 1/1972, S. 21 - 28
- / 28/ Hees, G.; Sulke, B.M.
Vereinfachte Berechnung mehrzelliger dünnwandiger
langer Kastenträger
Bautechnik 10/1978, S. 325 - 331
- / 29/ Hees, G.
Lastverzerrungsmoment bei symmetrischen Rechteckkästen
Bautechnik 10/1972, S. 335 - 337
- / 30/ Helig, R.
Beitrag zur Theorie der Kastenträger beliebiger Quer-
schnittsform
Stahlbau 11/1961, S. 333 - 349
- / 31/ Hetényi, H.
Beams on Elastic Foundation
Ann Arbor: The University of Michigan Press,
Ninth Printing, 1971
- / 32/ Hofbauer, E.
Zur Berechnung des unsymmetrisch belasteten
Kastenträgers
Konstruktiver Ingenieurbau - Berichte 38/39, S. 26 - 33
- / 33/ Ishac, J.J.; Smith, T.R.G.
Approximations for Moments in Box Girders
Journal of Structural 11/1985, S. 2333 - 2342

- / 34/ Jansen, J.D.; Veldpaus, F.E.
Der Einfluß von Querschotten auf das Verhalten von
Kastenträgern mit Rechteckquerschnitt
IVBH-Abhandlungen, 33-I/1973, S. 65 - 88

- / 35/ Jansen, J.D.; Veldpaus, F.E.
über die Stärke und Steifigkeit von Kastenträgern mit
Rechteckquerschnitt
IVBH-Abhandlungen, 32-II/1972, S. 85 - 106

- / 36/ Kliminski, S.
Structures en poutres-caissons reliees par de dalles
IVBH-Abhandlungen 35-I/1975, S. 115 - 148

- / 37/ Knittel, G.
Zur Berechnung des dünnwandigen Kastenträgers mit
gleichbleibendem symmetrischem Querschnitt
Beton- und Stahlbetonbau 9/1965, S. 205 - 211

- / 38/ Koepcke, W.
Zur Berechnung der Beanspruchungen von dünnwandigen
Hohlträgern quer zur Längsachse
Festschrift Walter Schütte, Verlag Baustahlgewebe GmbH
Düsseldorf, 1959

- / 39/ König, G.; Heunisch, M.
Bericht über die an der Lahnbrücke Limburg
durchgeführte Messungen der Dehnungsänderungen und der
Rißbreitenänderungen unter dem täglichem Verkehr und
unter definierten Lasten (Mai 1980)
Frankfurt, 1980

- / 40/ König, G.; Heunisch, M.
Bericht über die an der Talbrücke Sterbecke
durchgeführte Messungen der Dehnungsänderungen und der
Rißbreitenänderungen unter täglichem Verkehr und unter
definierten Lasten (Juni- Oktober 1981)
Frankfurt, 1982

- / 41/ König, G.; Heunisch, M.
Bericht über die an der Talbrücke Büschergrund
durchgeführte Messungen der Dehnungsänderungen und der
Rißbreitenänderungen unter täglichem Verkehr und unter
definierten Lasten (August - Oktober 1982)
Frankfurt, 1983

- / 42/ Kordina, K.; Eibl, J.; Pelle, K.
Das Tragverhalten massiver unausgesteifter Hohlkasten-
träger
Unveröffentlichte Arbeit im Rahmen eines Forschungs-
auftrages

- / 43/ Kordina, K.; Ivanyi, G.; Nölting, D.
Bericht über eine im Dezember 1977 durchgeführte
Probebelastung an der Krähwinkler Brücke im Zuge der
L 412
Braunschweig, April 1978

- / 44/ Kordina, K.; Weber, V.
Bericht über Messungen am Überbau der Talbrücke
Kattenohl zur Beurteilung der Quertragfähigkeit im
Bereich verpreßter Koppelfugenrisse
Braunschweig, November 1982

- / 45/ Krebs, A.; Lindlar H.-G.
Zur Profilverformung einzelliger Kastenträger
Beton- und Stahlbetonbau 1/1988, S. 13 - 18

- / 46/ Kristek, V.
Tapered Box Girders of deformable cross section
Journal of the STRUCTURAL DIVISION
Proc. of the American Soc. of Civ. Eng. 8/1970, S. 1761
- 1793

- / 47/ Kristek, V.
Theory of Box Girders
Chichester: A Wiley-Interscience publication, 1979

- / 48/ Kupfer, H.
Kastenträger mit elastisch ausgesteiftem Querschnitt
unter Linien- und Einzellasten
Festschrift Rüschi: Berichte aus Forschung und Praxis
Berlin: W.. Ernst u. Sohn 1969, S. 251 - 263

- / 49/ Lacher, G.
Zur Berechnung des Einflusses der Querschnittsver-
formung auf die Spannungsverteilung bei durch elas-
tische oder starre Querschnitte versteiften Tragwerken
mit prismatischem, offenem oder geschlossenem biege-
steifem Querschnitt unter Querlast
Stahlbau 10/1962, S. 299 - 308
Stahlbau 11/1962, S. 325 - 335

- / 50/ Leonhardt, F.; Walther, R.; Vogler, O.
Torsions- und Schubversuche an vorgespannten Hohl-
kastenträgern
Heft 202 aus der Schriftenreihe des DAfStb, 1968

- / 51/ Lindlar, H.-G.
Zur Profilverformung einzelliger Kastenträger
Dissertation, TH Darmstadt, 1984

- / 52/ Lippoth, W.
Zur Beanspruchung mehrzelliger Hohlkastenquerschnitte
quer zur Längsachse aus Umlenkkraften der Längsvorspan-
nung
Beton- und Stahlbetonbau, 12/1970, S. 279 - 289

- / 53/ Malek, J.
Zum Tragverhalten von vorgespannten Massivbrücken mit
einzelligem Kastenquerschnitt im elastischen und im
gerissenen Zustand
Dissertation, TH Darmstadt, 1984

- / 54/ Maquoi, R.; Massonnet, Ch.
Theorie non-lineaire de la resistance postcritique des
grandes pontres en caisson raidies
IVBH - Abhandlung 31-II, 1971, S. 91 - 140

- / 55/ Maurer, G; Mehlhorn, G.
Zum Tragverhalten des einzelligen vorgespannten Kasten-
trägers unter Berücksichtigung wirklichkeitsnahen Werk-
stoffverhaltens
Heft 270 aus der Schriftenreihe Forschung, Straßenbau
und Straßenverkehrstechnik, 1979

- / 56/ Maurer, G.
Spannbetonkastenträger
Bauingenieur 5/1976, S. 180 - 182

- / 57/ Manko, Z.
Die Berechnung von Kastenbrückenfeldern
Stahlbau, 8/1980, S. 246 - 250

- / 58/ May, B.; Wehlmann, T.
Zur Querbiegung der Fahrbahnplatten von Fertigteil-
brücken mit Kastenträgern
Beton- und Stahlbetonbau 2/1984, S. 29 - 35

- / 59/ Mok, K.-S.
über Bemessung von Hohlquerschnitten
Bauingenieur 1/1966, S. 20

- / 60/ Moreau, P.; Virlogeux, M.
Lesson form a shear-cracked bridge
International Association for Bridge and Structural
Engineering
Eleventh Congress
Vienne - September 1 - 5/1980, S. 119 - 124

- / 61/ Moustafa, S.D.
Beitrag zur Berechnung von unausgesteiften einzelligen
und zweizelligen Hohlkastenträgern mit Querschotten an
den Auflagern
Dissertation, TU Hannover, 1965

- / 62/ Mrotzek, M.
Berechnung von Hohlkastenträgern ohne Querschotte
Beton- und Stahlbetonbau 12/1971, S. 281 - 285

- / 63/ Müller, P.
Torsion von Kastenträgern mit elastisch verformbarem
symmetrischem Querschnitt
Schweizer Bauzeitung 11/1953, S. 673 - 676

- / 64/ Nyffeler, H.
Faltwerke im Hallen- und Brückenbau
Düsseldorf; Werner-Verlag 1967

- / 65/ Pahl, J.; Stein, E.; Wunderlich, W.
Finite Elemente in der Baupraxis
Berlin; Verlag Wilhelm Ernst & Sohn

- / 66/ Pelle, K.
Beitrag zur Berechnung schief gelagerter einzelliger
massiver Kastenbrücken
Dissertation, Universität Dortmund, 1976

- / 67/ Prakash Rao, D.S.
Einfluß der Querschnittsabmessungen auf die Profilver-
formungen von massiven Hohlkastenträgern
Beton- und Stahlbetonbau 1/1981, S. 6 - 9

- / 68/ du Preez, R.
Berechnung prismatischer Flächentragwerke mit Hilfe von
finiten Streifenelementen
Bautechnik 5/1972, S. 151 - 162

- / 69/ Pulmano, V.A.
Analysis of Continuous Box Girder Bridges without
Interior Diaphragms
IVBH - Abhandlung 34-II/1974, S. 131 - 148

- / 70/ Resinger, F.
Der dünnwandige Kastenträger
Forschungshefte aus dem Gebiet des Stahlbaus
Köln: Stahlbau-Verlag 1959, Heft 13

- / 71/ Rockey, K.C.; Evans, H.R.
The Nodal Section Method for the Analysis of Box Gir-
ders
IVBH - Abhandlung Band 35/I, 1975, S. 185 - 216

- / 72/ Roßner, W.
Sawoe - Brückensystem aus Spannbetonfertigteilen
Beton- und Stahlbetonbau 12/1977, S. 289 - 294

- / 73/ Schardt, R.
Eine Erweiterung der technischen Biegelehre für die
Berechnung prismatischer Faltwerke
Stahlbau 6/1966, S.161 - 171

- / 74/ Schlaich, J.; Scheef, H.
Betonhohlkastenbrücken
Structural Engineering Documents
Verlag: IVBH - Zürich

- / 75/ Schmitz, H.
Ziele und Aufgaben im Massivbrückenbau
Konstruktiver Ingenieurbau in Forschung und Praxis,
S. 239 - 252
Düsseldorf: Werner-Verlag, 1976

- / 76/ Schwarz, H.R.
Methode der finiten Elemente
Stuttgart, Teubner-Verlag, 1980

- / 77/ Scordelis, A.C.; Bouwkamp, J.G.; u.a.
Ultimate Strength of Skew RC Box Girder Bridge
Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. (ASCE), 5/1979, S. 105 - 121

- / 78/ Scordelis, A.C.; Elfgren, L.G.; Larsen, P.K.
Time-Dependent Behaviour of Concrete Box Girder Bridges
ACI - Journal 1/1979, S. 159 - 177

- / 79/ Scordelis, A.C.; Seible, F.
Time-Dependent Behaviour of a Skew Reinforced Concrete
Box Girder Bridge
ACI-Journal 1/1983, S. 84 - 92

- / 80/ Scordelis, A.C.; Tanvir Wasti, S.; Seible, F.
Structural Response of Skew RC Box Girder Bridge
Proc. of the Amer. Soc. of Civ. Eng. (ASCE), 1/1982, S.
89 - 104

- / 81/ Sedlacek, G.
Die Anwendung der erweiterten Biege- und Verdrehtheorie
auf die Berechnung von Kastenträgern mit verformbarem
Querschnitt
Straße Brücke Tunnel 9/1971, S. 241 - 244
Straße Brücke Tunnel 12/1971, S. 329 - 325
- / 82/ Seible, F.; Scordelis, A.C.
Nonlinear behaviour and failure analysis of multicell
reinforced concrete box girder bridges
Can. J. Civ. Eng. 11/1984, S. 411 - 422
- / 83/ Simon, G.
Die Güte von Berechnungsmodellen für Verformungsberechnungen von dreistegigen Kastenträgern
Stahlbau 4/1985, S. 107 - 111
- / 84/ Sisodiya, R.G.; Cheung, Y.K.; Ghali, A.
Finite Element Analysis of Skew Curved Box-Girder
Bridge
IVBH-Abhandlung, 30-II, S. 191 - 199
- / 85/ Sisodiya, R.G.; Ghali, A.
Analysis of Box Girder Bridges of Arbitrary Shape
IVBH - Abhandlung, 33-I/1973, S. 203 - 218
- / 86/ Stampf, W.
Längs- und Querbeanspruchung des Zweistegträgers bei
exzentrischer Belastung
Straße Brücke Tunnel 3/1973, S. 57 - 67
- / 87/ Steinle, A.
Torsion und Profilverformung
Dissertation, TH Stuttgart, 1967
- / 88/ Steinle, A.
Torsion und Profilverformung beim einzelligen Kasten-
träger
Beton- und Stahlbetonbau 9/1970, S. 215 - 222
- / 89/ Steinle, A.
Ergänzung zu den Aufsätzen
Beton- und Stahlbetonbau 6/1972, S. 143 - 144

- / 90/ Steinle, A.
Praktische Berechnung eines durch Verkehrslasten unsymmetrisch belasteten Kastenträgers am Beispiel der Henschbachtalbrücke
Beton- und Stahlbetonbau 10/1970, S. 249 - 253

- / 91/ Sulke, B.-M.
Berechnung dünnwandiger prismatischer Faltwerke mit verformbarem mehrzelligen Querschnitt
Dissertation, Universität Stuttgart, 1977

- / 92/ Usuki, T.
Ein Beitrag zur Theorie dünnwandiger prismatischer Stäbe mit offen-geschlossenem Profil aus vier Scheiben
Bautechnik 1/1983, S. 14 - 23

- / 93/ Valentin, G.
Zum Einfluß der Querkkräfte auf die Formänderungen dünnwandiger, mehrzelliger Stäbe
Bauingenieur 6/1967, S. 218 - 221

- / 94/ Valentin, G.
Zum Einfluß der Querkkräfte auf die Formänderungen dünnwandiger Hohlquerschnitte
Bauingenieur 12/1964, S. 495 - 496

- / 95/ Wittfoht, H.
Betrachtung zur Querschnittsbildung von Spannbetonbrücken an Bauausführungen 1960
Beton- und Stahlbetonbau 6/1962, S. 129 - 141

- / 96/ Wlassow, W.S.
Dünnwandige elastische Stäbe, Band 1
Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1964

- / 97/ Wunderlich, W.
SAP IV - B, Beschreibung und Benutzerhandbuch
Institut für konstruktiven Ingenieurbau, Mitteilung Nr. 79-3, Ruhr Universität Bochum, 1979

- / 98/ Yajima, S.
Zur Berechnung von einzelligen Hohlkästen mit Querschotten
Bauingenieur 1985, S. 99 - 104
- / 99/ Zelger, C.
Verformungsmessungen an Brücken
Stahlbetonbau, Berichte aus Forschung und Praxis 1969,
S. 217 - 225

Vorschriften

- /100/ DIN 1045 Beton- und Stahlbeton
- /101/ DIN 1055 Lastannahmen für Bauten
- /102/ DIN 1072 Straßen- und Wegbrücken; Lastannahmen
- /103/ DIN 1075 Betonbrücken; Bemessung und Ausführung
- /104/ DIN 4227 Spannbeton
- /105/ ZTV - K 80 Zusätzliche Technische Vorschriften für Kunstbauten
- /106/ EZV - K - NS 84 Technische und vertragliche Ergänzungen zu den ZTV - k 80 für den Geschäftsbereich der Niedersächsischen Straßenbauverwaltung
- /107/ RAS - Q Richtlinie für die Anlage von Landstraßen; Teil I: Querschnitt
- /108/ Richtzeichnungen für Straßenbrücken

A N H A N G

| Querverteilung für Lastfall - A Eigengewicht; L = 30.00 m | | | | | | | | |
|---|-------------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|
| Steghöhe [m] | Last- stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | |
| | | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] |
| 1.60 | L | 0.067L | 0.542 | 0.512 | 0.542 | 33.96 | 32.08 | 33.96 |
| | | 0.10L | 0.905 | 0.847 | 0.905 | 34.06 | 31.88 | 34.06 |
| | | 0.20L | 2.212 | 2.064 | 2.212 | 34.09 | 31.81 | 34.09 |
| | | 0.33L | 3.813 | 3.587 | 3.813 | 34.01 | 31.99 | 34.01 |
| | | 0.50L | 4.657 | 4.401 | 4.657 | 33.96 | 32.09 | 33.96 |
| 2.00 | L | 0.067L | 0.448 | 0.419 | 0.448 | 34.07 | 31.86 | 34.07 |
| | | 0.10L | 0.704 | 0.653 | 0.704 | 34.16 | 31.68 | 34.16 |
| | | 0.20L | 1.608 | 1.489 | 1.608 | 34.18 | 31.65 | 34.18 |
| | | 0.33L | 2.704 | 2.524 | 2.704 | 34.09 | 31.82 | 34.09 |
| | | 0.50L | 3.279 | 3.074 | 3.279 | 34.04 | 31.91 | 34.04 |
| 4.00 | L | 0.067L | 0.357 | 0.325 | 0.357 | 34.36 | 31.28 | 34.36 |
| | | 0.10L | 0.461 | 0.419 | 0.461 | 34.38 | 31.25 | 34.38 |
| | | 0.20L | 0.778 | 0.708 | 0.778 | 34.36 | 31.27 | 34.36 |
| | | 0.33L | 1.142 | 1.045 | 1.142 | 34.30 | 31.39 | 34.30 |
| | | 0.50L | 1.329 | 1.221 | 1.329 | 34.26 | 31.48 | 34.26 |
| 6.00 | L | 0.067L | 0.373 | 0.337 | 0.373 | 34.44 | 31.12 | 34.44 |
| | | 0.10L | 0.455 | 0.411 | 0.455 | 34.44 | 31.11 | 34.44 |
| | | 0.20L | 0.655 | 0.593 | 0.655 | 34.42 | 31.16 | 34.42 |
| | | 0.33L | 0.863 | 0.785 | 0.863 | 34.37 | 31.26 | 34.37 |
| | | 0.50L | 0.968 | 0.883 | 0.968 | 34.34 | 31.32 | 34.34 |

| Querverteilung für Lastfall - A Eigengewicht; L = 45.00 m | | | | | | | | |
|---|-------------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|
| Steghöhe [m] | Last- stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | |
| | | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] |
| 1.60 | L | 0.067L | 1.654 | 1.615 | 1.654 | 33.60 | 32.81 | 33.60 |
| | | 0.10L | 3.055 | 2.966 | 3.055 | 33.66 | 32.68 | 33.66 |
| | | 0.20L | 8.363 | 8.138 | 8.363 | 33.63 | 32.73 | 33.63 |
| | | 0.33L | 15.179 | 14.847 | 15.179 | 33.58 | 32.84 | 33.58 |
| | | 0.50L | 18.858 | 18.479 | 18.858 | 33.56 | 32.88 | 33.56 |
| 2.00 | L | 0.067L | 1.244 | 1.203 | 1.244 | 33.70 | 32.59 | 33.70 |
| | | 0.10L | 2.213 | 2.131 | 2.213 | 33.75 | 32.50 | 33.75 |
| | | 0.20L | 5.842 | 5.652 | 5.842 | 33.70 | 32.60 | 33.70 |
| | | 0.33L | 10.465 | 10.191 | 10.465 | 33.63 | 32.75 | 33.63 |
| | | 0.50L | 12.953 | 12.643 | 12.953 | 33.60 | 32.80 | 33.60 |
| 4.00 | L | 0.067L | 0.716 | 0.670 | 0.716 | 34.06 | 31.87 | 34.06 |
| | | 0.10L | 1.050 | 0.983 | 1.050 | 34.06 | 31.88 | 34.06 |
| | | 0.20L | 2.224 | 2.105 | 2.224 | 33.94 | 32.12 | 33.94 |
| | | 0.33L | 3.669 | 3.505 | 3.669 | 33.84 | 32.33 | 33.84 |
| | | 0.50L | 4.434 | 4.251 | 4.434 | 33.80 | 32.40 | 33.80 |
| 6.00 | L | 0.067L | 0.678 | 0.625 | 0.678 | 34.23 | 31.55 | 34.23 |
| | | 0.10L | 0.886 | 0.817 | 0.886 | 34.22 | 31.56 | 34.22 |
| | | 0.20L | 1.539 | 1.437 | 1.539 | 34.09 | 31.83 | 34.09 |
| | | 0.33L | 2.312 | 2.180 | 2.312 | 33.98 | 32.04 | 33.98 |
| | | 0.50L | 2.715 | 2.570 | 2.715 | 33.94 | 32.13 | 33.94 |

| Querverteilung für Lastfall - A Eigengewicht; L = 60.00 m | | | | | | | | |
|---|-----|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|-------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] | |
| 1.60 | L | 0.075L | 4.769 | 4.742 | 4.769 | 33.40 | 33.21 | 33.40 |
| | | 0.10L | 7.664 | 7.592 | 7.664 | 33.44 | 33.12 | 33.44 |
| | | 0.20L | 22.373 | 22.127 | 22.373 | 33.46 | 33.09 | 33.46 |
| | | 0.33L | 41.820 | 41.390 | 41.820 | 33.45 | 33.10 | 33.45 |
| | | 0.50L | 52.563 | 52.032 | 52.563 | 33.45 | 33.11 | 33.45 |
| 2.00 | L | 0.075L | 3.444 | 3.396 | 3.444 | 33.49 | 33.02 | 33.49 |
| | | 0.10L | 5.445 | 5.358 | 5.445 | 33.51 | 32.98 | 33.51 |
| | | 0.20L | 15.523 | 15.297 | 15.523 | 33.50 | 33.01 | 33.50 |
| | | 0.33L | 28.755 | 28.402 | 28.755 | 33.47 | 33.06 | 33.47 |
| | | 0.50L | 36.033 | 35.614 | 36.033 | 33.46 | 33.07 | 33.46 |
| 4.00 | L | 0.075L | 1.513 | 1.451 | 1.513 | 33.79 | 32.41 | 33.79 |
| | | 0.10L | 2.171 | 2.086 | 2.171 | 33.77 | 32.45 | 33.77 |
| | | 0.20L | 5.364 | 5.205 | 5.364 | 33.67 | 32.67 | 33.67 |
| | | 0.33L | 9.440 | 9.218 | 9.440 | 33.60 | 32.81 | 33.60 |
| | | 0.50L | 11.648 | 11.397 | 11.648 | 33.57 | 32.85 | 33.57 |
| 6.00 | L | 0.075L | 1.198 | 1.128 | 1.198 | 34.00 | 32.01 | 34.00 |
| | | 0.10L | 1.566 | 1.479 | 1.566 | 33.96 | 32.08 | 33.96 |
| | | 0.20L | 3.271 | 3.132 | 3.271 | 33.81 | 32.38 | 33.81 |
| | | 0.33L | 5.391 | 5.208 | 5.391 | 33.71 | 32.57 | 33.71 |
| | | 0.50L | 6.527 | 6.323 | 6.527 | 33.68 | 32.63 | 33.68 |

| Querverteilung für Lastfall - B Linienlast; L = 30.00 m | | | | | | | | |
|---|-----|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|-------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] | |
| 1.60 | L | 0.067L | 0.071 | 0.016 | -0.004 | 85.83 | 19.02 | -4.85 |
| | | 0.10L | 0.115 | 0.028 | -0.005 | 83.33 | 20.29 | -3.62 |
| | | 0.20L | 0.267 | 0.076 | -0.006 | 79.23 | 22.55 | -1.78 |
| | | 0.33L | 0.439 | 0.141 | 0.001 | 75.56 | 24.27 | 0.17 |
| | | 0.50L | 0.526 | 0.177 | 0.007 | 74.08 | 24.93 | 0.99 |
| 2.00 | L | 0.067L | 0.057 | 0.010 | -0.003 | 89.27 | 16.14 | -5.41 |
| | | 0.10L | 0.088 | 0.017 | -0.005 | 87.45 | 17.39 | -4.84 |
| | | 0.20L | 0.192 | 0.046 | -0.008 | 83.48 | 20.00 | -3.48 |
| | | 0.33L | 0.311 | 0.085 | -0.010 | 80.57 | 22.02 | -2.59 |
| | | 0.50L | 0.371 | 0.106 | -0.009 | 79.27 | 22.65 | -1.92 |
| 4.00 | L | 0.067L | 0.037 | 0.003 | -0.002 | 95.41 | 8.55 | -3.96 |
| | | 0.10L | 0.047 | 0.005 | -0.002 | 94.70 | 9.39 | -4.09 |
| | | 0.20L | 0.078 | 0.010 | -0.004 | 92.65 | 11.72 | -4.38 |
| | | 0.33L | 0.113 | 0.017 | -0.006 | 91.13 | 13.71 | -4.84 |
| | | 0.50L | 0.130 | 0.021 | -0.007 | 90.28 | 14.58 | -4.86 |
| 6.00 | L | 0.067L | 0.032 | 0.002 | -0.001 | 96.86 | 6.08 | -2.93 |
| | | 0.10L | 0.038 | 0.003 | -0.001 | 96.52 | 6.50 | -3.02 |
| | | 0.20L | 0.055 | 0.005 | -0.002 | 95.33 | 7.95 | -3.28 |
| | | 0.33L | 0.071 | 0.007 | -0.003 | 94.03 | 9.46 | -3.49 |
| | | 0.50L | 0.079 | 0.009 | -0.003 | 92.94 | 10.59 | -3.53 |

| Querverteilung für Lastfall - B Linienlast; L = 45.00 m | | | | | | | | |
|---|-----|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|-------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] | |
| 1.60 | L | 0.067L | 0.182 | 0.067 | 0.005 | 71.65 | 26.38 | 1.97 |
| | | 0.10L | 0.318 | 0.128 | 0.022 | 67.95 | 27.35 | 4.70 |
| | | 0.20L | 0.784 | 0.373 | 0.123 | 61.25 | 29.14 | 9.61 |
| | | 0.33L | 1.313 | 0.702 | 0.308 | 56.52 | 30.22 | 13.26 |
| | | 0.50L | 1.577 | 0.883 | 0.427 | 54.62 | 30.59 | 14.79 |
| 2.00 | L | 0.067L | 0.136 | 0.043 | -0.001 | 76.40 | 24.16 | -0.56 |
| | | 0.10L | 0.231 | 0.081 | 0.006 | 72.64 | 25.47 | 1.89 |
| | | 0.20L | 0.554 | 0.232 | 0.052 | 66.11 | 27.68 | 6.21 |
| | | 0.33L | 0.922 | 0.437 | 0.145 | 61.30 | 29.06 | 9.64 |
| | | 0.50L | 1.106 | 0.549 | 0.206 | 59.43 | 29.50 | 11.07 |
| 4.00 | L | 0.067L | 0.070 | 0.012 | -0.004 | 89.42 | 15.58 | -5.00 |
| | | 0.10L | 0.100 | 0.020 | -0.005 | 86.96 | 17.39 | -4.35 |
| | | 0.20L | 0.200 | 0.051 | -0.007 | 81.97 | 20.90 | -2.87 |
| | | 0.33L | 0.316 | 0.093 | -0.007 | 78.61 | 23.13 | -1.74 |
| | | 0.50L | 0.375 | 0.116 | -0.005 | 77.16 | 23.87 | -1.03 |
| 6.00 | L | 0.067L | 0.056 | 0.007 | -0.003 | 93.55 | 10.99 | -4.54 |
| | | 0.10L | 0.072 | 0.010 | -0.003 | 92.19 | 12.30 | -4.49 |
| | | 0.20L | 0.120 | 0.021 | -0.006 | 88.89 | 15.56 | -4.44 |
| | | 0.33L | 0.175 | 0.037 | -0.008 | 85.78 | 18.14 | -3.92 |
| | | 0.50L | 0.203 | 0.046 | -0.009 | 84.58 | 19.17 | -3.75 |

| Querverteilung für Lastfall - B Linienlast; L = 60.00 m | | | | | | | | |
|---|-----|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|-------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] | |
| 1.60 | L | 0.075L | 0.442 | 0.220 | 0.072 | 60.22 | 29.97 | 9.81 |
| | | 0.10L | 0.678 | 0.358 | 0.141 | 57.60 | 30.42 | 11.98 |
| | | 0.20L | 1.751 | 1.080 | 0.600 | 51.03 | 31.48 | 17.49 |
| | | 0.33L | 2.999 | 2.053 | 1.358 | 46.79 | 32.03 | 21.19 |
| | | 0.50L | 3.642 | 2.594 | 1.820 | 45.21 | 32.20 | 22.59 |
| 2.00 | L | 0.075L | 0.318 | 0.142 | 0.036 | 64.11 | 28.63 | 7.26 |
| | | 0.10L | 0.481 | 0.230 | 0.074 | 61.27 | 29.30 | 9.43 |
| | | 0.20L | 1.215 | 0.686 | 0.333 | 54.39 | 30.71 | 14.91 |
| | | 0.33L | 2.059 | 1.303 | 0.777 | 49.75 | 31.48 | 18.77 |
| | | 0.50L | 2.489 | 1.645 | 1.052 | 47.99 | 31.72 | 20.29 |
| 4.00 | L | 0.075L | 0.132 | 0.037 | -0.003 | 79.52 | 22.29 | -1.81 |
| | | 0.10L | 0.183 | 0.056 | -0.001 | 76.89 | 23.53 | -0.42 |
| | | 0.20L | 0.413 | 0.156 | 0.021 | 70.00 | 26.44 | 3.56 |
| | | 0.33L | 0.681 | 0.292 | 0.067 | 65.48 | 28.08 | 6.44 |
| | | 0.50L | 0.818 | 0.367 | 0.098 | 63.76 | 28.60 | 7.64 |
| 6.00 | L | 0.075L | 0.093 | 0.018 | -0.005 | 87.82 | 16.68 | -4.50 |
| | | 0.10L | 0.119 | 0.025 | -0.005 | 85.61 | 17.99 | -3.60 |
| | | 0.20L | 0.232 | 0.064 | -0.006 | 80.00 | 22.07 | -2.07 |
| | | 0.33L | 0.364 | 0.117 | -0.001 | 75.83 | 24.38 | -0.21 |
| | | 0.50L | 0.433 | 0.146 | 0.002 | 74.53 | 25.13 | 0.34 |

| Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 30.00 m | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] |
| 1.60 0.067L | 0.067L | 0.176 | 0.022 | -0.007 | 92.15 | 11.52 | -3.66 |
| | 0.10L | 0.228 | 0.031 | -0.011 | 91.94 | 12.50 | -4.44 |
| | 0.20L | 0.288 | 0.053 | -0.024 | 90.85 | 16.72 | -7.57 |
| | 0.33L | 0.277 | 0.068 | -0.035 | 89.35 | 21.94 | -11.29 |
| | 0.50L | 0.217 | 0.061 | -0.040 | 91.18 | 25.63 | -16.81 |
| | 0.67L | 0.137 | 0.037 | -0.036 | 99.28 | 26.81 | -26.09 |
| | 0.80L | 0.070 | 0.017 | -0.024 | 112.02 | 26.76 | -38.78 |
| | 0.90L | 0.027 | 0.005 | -0.012 | 131.50 | 25.74 | -57.23 |
| | 0.933L | 0.016 | 0.003 | -0.007 | 143.90 | 25.02 | -68.92 |
| 1.60 0.10L | 0.067L | 0.207 | 0.029 | -0.008 | 90.79 | 12.72 | -3.51 |
| | 0.10L | 0.292 | 0.044 | -0.012 | 90.12 | 13.58 | -3.70 |
| | 0.20L | 0.419 | 0.084 | -0.024 | 87.47 | 17.54 | -5.01 |
| | 0.33L | 0.414 | 0.111 | -0.033 | 84.15 | 22.56 | -6.71 |
| | 0.50L | 0.325 | 0.102 | -0.037 | 83.33 | 26.15 | -9.49 |
| | 0.67L | 0.203 | 0.064 | -0.036 | 87.88 | 27.71 | -15.58 |
| | 0.80L | 0.102 | 0.029 | -0.026 | 97.14 | 27.62 | -24.76 |
| | 0.90L | 0.039 | 0.009 | -0.013 | 111.95 | 26.71 | -38.66 |
| | 0.933L | 0.022 | 0.005 | -0.009 | 121.08 | 26.17 | -47.24 |
| 1.60 0.20L | 0.067L | 0.242 | 0.049 | -0.009 | 85.82 | 17.38 | -3.19 |
| | 0.10L | 0.392 | 0.082 | -0.014 | 85.22 | 17.83 | -3.04 |
| | 0.20L | 0.814 | 0.191 | -0.022 | 82.81 | 19.43 | -2.24 |
| | 0.33L | 0.955 | 0.285 | -0.020 | 78.28 | 23.36 | -1.64 |
| | 0.50L | 0.777 | 0.279 | -0.017 | 74.78 | 26.85 | -1.64 |
| | 0.67L | 0.485 | 0.180 | -0.027 | 76.02 | 28.21 | -4.23 |
| | 0.80L | 0.242 | 0.084 | -0.028 | 81.21 | 28.19 | -9.40 |
| | 0.90L | 0.090 | 0.028 | -0.018 | 89.78 | 27.83 | -17.61 |
| | 0.933L | 0.052 | 0.015 | -0.012 | 95.19 | 27.52 | -22.71 |
| 1.60 0.33L | 0.067L | 0.219 | 0.062 | -0.010 | 80.81 | 22.88 | -3.69 |
| | 0.10L | 0.372 | 0.107 | -0.012 | 79.66 | 22.91 | -2.57 |
| | 0.20L | 0.938 | 0.283 | -0.009 | 77.39 | 23.35 | -0.74 |
| | 0.33L | 1.555 | 0.494 | 0.012 | 75.45 | 23.97 | 0.58 |
| | 0.50L | 1.464 | 0.539 | 0.029 | 72.05 | 26.53 | 1.43 |
| | 0.67L | 0.940 | 0.370 | 0.006 | 71.43 | 28.12 | 0.46 |
| | 0.80L | 0.471 | 0.179 | -0.017 | 74.41 | 28.28 | -2.69 |
| | 0.90L | 0.174 | 0.061 | -0.017 | 79.82 | 27.98 | -7.80 |
| | 0.933L | 0.100 | 0.033 | -0.013 | 83.33 | 27.50 | -10.83 |
| 1.60 0.50L | 0.067L | 0.163 | 0.055 | -0.011 | 78.74 | 26.57 | -5.31 |
| | 0.10L | 0.283 | 0.098 | -0.013 | 76.90 | 26.63 | -3.53 |
| | 0.20L | 0.755 | 0.277 | -0.003 | 73.37 | 26.92 | -0.29 |
| | 0.33L | 1.457 | 0.538 | 0.034 | 71.81 | 26.52 | 1.68 |
| | 0.50L | 1.972 | 0.699 | 0.060 | 72.21 | 25.60 | 2.20 |
| | 0.67L | 1.457 | 0.538 | 0.034 | 71.81 | 26.52 | 1.68 |
| | 0.80L | 0.755 | 0.277 | -0.003 | 73.37 | 26.92 | -0.29 |
| | 0.90L | 0.283 | 0.098 | -0.013 | 76.90 | 26.63 | -3.53 |
| | 0.933L | 0.163 | 0.055 | -0.011 | 78.74 | 26.57 | -5.31 |

| Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 30.00 m | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] |
| 2.00 | 0.067L | 0.151 | 0.017 | -0.005 | 92.64 | 10.43 | -3.07 |
| | 0.10L | 0.186 | 0.023 | -0.008 | 92.54 | 11.44 | -3.98 |
| | 0.20L | 0.224 | 0.036 | -0.018 | 92.56 | 14.88 | -7.44 |
| | 0.33L | 0.212 | 0.045 | -0.027 | 92.17 | 19.57 | -11.74 |
| | 0.50L | 0.166 | 0.040 | -0.032 | 95.40 | 22.99 | -18.39 |
| | 0.67L | 0.105 | 0.024 | -0.028 | 103.96 | 23.76 | -27.72 |
| | 0.80L | 0.054 | 0.011 | -0.019 | 118.44 | 23.08 | -41.52 |
| | 0.90L | 0.022 | 0.003 | -0.009 | 139.34 | 20.90 | -60.24 |
| | 0.933L | 0.013 | 0.002 | -0.006 | 152.85 | 19.34 | -72.18 |
| 2.00 | 0.067L | 0.172 | 0.022 | -0.006 | 91.49 | 11.70 | -3.19 |
| | 0.10L | 0.229 | 0.031 | -0.009 | 91.24 | 12.35 | -3.59 |
| | 0.20L | 0.313 | 0.055 | -0.019 | 89.68 | 15.76 | -5.44 |
| | 0.33L | 0.306 | 0.071 | -0.028 | 87.68 | 20.34 | -8.02 |
| | 0.50L | 0.241 | 0.064 | -0.033 | 88.60 | 23.53 | -12.13 |
| | 0.67L | 0.151 | 0.040 | -0.030 | 93.79 | 24.84 | -18.63 |
| | 0.80L | 0.077 | 0.018 | -0.021 | 103.83 | 24.27 | -28.10 |
| | 0.90L | 0.030 | 0.006 | -0.011 | 119.06 | 22.53 | -41.58 |
| | 0.933L | 0.018 | 0.003 | -0.007 | 128.78 | 21.31 | -50.09 |
| 2.00 | 0.067L | 0.193 | 0.035 | -0.008 | 87.73 | 15.91 | -3.64 |
| | 0.10L | 0.296 | 0.054 | -0.012 | 87.57 | 15.98 | -3.55 |
| | 0.20L | 0.583 | 0.120 | -0.023 | 85.74 | 17.65 | -3.38 |
| | 0.33L | 0.677 | 0.175 | -0.030 | 82.36 | 21.29 | -3.65 |
| | 0.50L | 0.553 | 0.171 | -0.032 | 79.91 | 24.71 | -4.62 |
| | 0.67L | 0.347 | 0.111 | -0.032 | 81.46 | 26.06 | -7.51 |
| | 0.80L | 0.175 | 0.052 | -0.025 | 86.63 | 25.74 | -12.38 |
| | 0.90L | 0.068 | 0.017 | -0.014 | 95.34 | 24.59 | -19.93 |
| | 0.933L | 0.041 | 0.010 | -0.010 | 100.76 | 23.82 | -24.58 |
| 2.00 | 0.067L | 0.173 | 0.042 | -0.009 | 83.98 | 20.39 | -4.37 |
| | 0.10L | 0.278 | 0.069 | -0.013 | 83.23 | 20.66 | -3.89 |
| | 0.20L | 0.665 | 0.175 | -0.022 | 81.30 | 21.39 | -2.69 |
| | 0.33L | 1.088 | 0.301 | -0.026 | 79.82 | 22.08 | -1.91 |
| | 0.50L | 1.026 | 0.328 | -0.023 | 77.08 | 24.64 | -1.73 |
| | 0.67L | 0.663 | 0.225 | -0.025 | 76.83 | 26.07 | -2.90 |
| | 0.80L | 0.337 | 0.110 | -0.024 | 79.67 | 26.00 | -5.67 |
| | 0.90L | 0.130 | 0.039 | -0.016 | 84.97 | 25.49 | -10.46 |
| | 0.933L | 0.079 | 0.022 | -0.012 | 88.40 | 24.62 | -13.02 |
| 2.00 | 0.067L | 0.129 | 0.037 | -0.011 | 83.23 | 23.87 | -7.10 |
| | 0.10L | 0.212 | 0.063 | -0.014 | 81.23 | 24.14 | -5.36 |
| | 0.20L | 0.537 | 0.170 | -0.021 | 78.28 | 24.78 | -3.06 |
| | 0.33L | 1.021 | 0.327 | -0.019 | 76.82 | 24.60 | -1.43 |
| | 0.50L | 1.376 | 0.425 | -0.016 | 77.09 | 23.81 | -0.90 |
| | 0.67L | 1.021 | 0.327 | -0.019 | 76.82 | 24.60 | -1.43 |
| | 0.80L | 0.537 | 0.170 | -0.021 | 78.28 | 24.78 | -3.06 |
| | 0.90L | 0.212 | 0.063 | -0.014 | 81.23 | 24.14 | -5.36 |
| | 0.933L | 0.129 | 0.037 | -0.011 | 83.23 | 23.87 | -7.10 |

| Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 30.00 m | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] |
| 4.00 | 0.067L | 0.116 | 0.012 | -0.003 | 92.80 | 9.60 | -2.40 |
| | 0.10L | 0.129 | 0.014 | -0.004 | 92.81 | 10.07 | -2.88 |
| | 0.20L | 0.136 | 0.016 | -0.007 | 93.79 | 11.03 | -4.83 |
| | 0.33L | 0.119 | 0.016 | -0.009 | 94.44 | 12.70 | -7.14 |
| | 0.50L | 0.090 | 0.012 | -0.011 | 98.45 | 13.62 | -12.07 |
| | 0.67L | 0.056 | 0.006 | -0.010 | 106.87 | 12.04 | -18.90 |
| | 0.80L | 0.031 | 0.002 | -0.007 | 120.07 | 7.71 | -27.78 |
| | 0.90L | 0.016 | 0.000 | -0.004 | 139.78 | 0.16 | -39.94 |
| | 0.933L | 0.011 | 0.000 | -0.003 | 149.88 | -3.86 | -46.02 |
| 4.00 | 0.067L | 0.120 | 0.013 | -0.003 | 92.31 | 10.00 | -2.31 |
| | 0.10L | 0.140 | 0.015 | -0.004 | 92.72 | 9.93 | -2.65 |
| | 0.20L | 0.161 | 0.020 | -0.007 | 92.53 | 11.49 | -4.02 |
| | 0.33L | 0.146 | 0.021 | -0.010 | 92.99 | 13.38 | -6.37 |
| | 0.50L | 0.111 | 0.017 | -0.012 | 95.69 | 14.66 | -10.34 |
| | 0.67L | 0.070 | 0.009 | -0.011 | 101.75 | 13.73 | -15.48 |
| | 0.80L | 0.039 | 0.004 | -0.008 | 112.06 | 10.20 | -22.26 |
| | 0.90L | 0.019 | 0.001 | -0.005 | 127.24 | 4.06 | -31.29 |
| | 0.933L | 0.014 | 0.000 | -0.004 | 134.81 | 0.87 | -35.68 |
| 4.00 | 0.067L | 0.122 | 0.016 | -0.004 | 91.04 | 11.94 | -2.99 |
| | 0.10L | 0.155 | 0.020 | -0.005 | 91.18 | 11.76 | -2.94 |
| | 0.20L | 0.235 | 0.033 | -0.010 | 91.09 | 12.79 | -3.88 |
| | 0.33L | 0.253 | 0.042 | -0.014 | 90.04 | 14.95 | -4.98 |
| | 0.50L | 0.203 | 0.038 | -0.016 | 90.22 | 16.89 | -7.11 |
| | 0.67L | 0.131 | 0.024 | -0.014 | 92.91 | 17.02 | -9.93 |
| | 0.80L | 0.072 | 0.011 | -0.010 | 98.24 | 14.72 | -12.96 |
| | 0.90L | 0.036 | 0.004 | -0.006 | 106.38 | 10.87 | -17.25 |
| | 0.933L | 0.026 | 0.002 | -0.005 | 110.24 | 8.98 | -19.22 |
| 4.00 | 0.067L | 0.103 | 0.017 | -0.005 | 89.57 | 14.78 | -4.35 |
| | 0.10L | 0.136 | 0.023 | -0.006 | 88.89 | 15.03 | -3.92 |
| | 0.20L | 0.248 | 0.044 | -0.011 | 88.26 | 15.66 | -3.91 |
| | 0.33L | 0.369 | 0.069 | -0.017 | 87.65 | 16.39 | -4.04 |
| | 0.50L | 0.347 | 0.072 | -0.019 | 86.75 | 18.00 | -4.75 |
| | 0.67L | 0.232 | 0.050 | -0.015 | 86.89 | 18.73 | -5.62 |
| | 0.80L | 0.130 | 0.025 | -0.010 | 89.66 | 17.24 | -6.90 |
| | 0.90L | 0.066 | 0.010 | -0.006 | 93.87 | 14.98 | -8.84 |
| | 0.933L | 0.048 | 0.007 | -0.005 | 95.73 | 13.84 | -9.56 |
| 4.00 | 0.067L | 0.077 | 0.012 | -0.006 | 92.77 | 14.46 | -7.23 |
| | 0.10L | 0.104 | 0.018 | -0.007 | 90.43 | 15.65 | -6.09 |
| | 0.20L | 0.200 | 0.039 | -0.013 | 88.50 | 17.26 | -5.75 |
| | 0.33L | 0.340 | 0.070 | -0.019 | 86.96 | 17.90 | -4.86 |
| | 0.50L | 0.442 | 0.089 | -0.023 | 87.01 | 17.52 | -4.53 |
| | 0.67L | 0.340 | 0.070 | -0.019 | 86.96 | 17.90 | -4.86 |
| | 0.80L | 0.200 | 0.039 | -0.013 | 88.50 | 17.26 | -5.75 |
| | 0.90L | 0.104 | 0.018 | -0.007 | 90.43 | 15.65 | -6.09 |
| | 0.933L | 0.077 | 0.012 | -0.005 | 91.80 | 14.73 | -6.53 |

| Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 30.00 m | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] |
| 6.00 | 0.067L | 0.102 | 0.010 | -0.002 | 92.73 | 9.09 | -1.82 |
| | 0.10L | 0.114 | 0.012 | -0.003 | 92.68 | 9.76 | -2.44 |
| | 0.20L | 0.120 | 0.013 | -0.004 | 93.02 | 10.08 | -3.10 |
| | 0.33L | 0.104 | 0.012 | -0.006 | 94.55 | 10.91 | -5.45 |
| | 0.50L | 0.077 | 0.008 | -0.006 | 98.19 | 9.82 | -8.00 |
| | 0.67L | 0.050 | 0.003 | -0.006 | 105.58 | 6.63 | -12.21 |
| | 0.80L | 0.030 | 0.000 | -0.005 | 116.71 | 0.77 | -17.48 |
| | 0.90L | 0.018 | -0.001 | -0.003 | 130.30 | -6.92 | -23.38 |
| | 0.933L | 0.014 | -0.001 | -0.003 | 135.58 | -9.97 | -25.60 |
| 6.00 | 0.067L | 0.103 | 0.011 | -0.003 | 92.79 | 9.91 | -2.70 |
| | 0.10L | 0.117 | 0.012 | -0.003 | 92.86 | 9.52 | -2.38 |
| | 0.20L | 0.129 | 0.014 | -0.005 | 93.48 | 10.14 | -3.62 |
| | 0.33L | 0.116 | 0.014 | -0.006 | 93.55 | 11.29 | -4.84 |
| | 0.50L | 0.087 | 0.010 | -0.007 | 96.75 | 10.60 | -7.35 |
| | 0.67L | 0.057 | 0.004 | -0.006 | 103.02 | 7.94 | -10.96 |
| | 0.80L | 0.034 | 0.001 | -0.005 | 112.54 | 2.85 | -15.38 |
| | 0.90L | 0.020 | -0.001 | -0.003 | 123.95 | -3.75 | -20.21 |
| | 0.933L | 0.016 | -0.001 | -0.003 | 128.30 | -6.31 | -21.98 |
| 6.00 | 0.067L | 0.100 | 0.012 | -0.003 | 91.74 | 11.01 | -2.75 |
| | 0.10L | 0.121 | 0.014 | -0.004 | 92.37 | 10.69 | -3.05 |
| | 0.20L | 0.159 | 0.019 | -0.005 | 91.91 | 10.98 | -2.89 |
| | 0.33L | 0.164 | 0.022 | -0.007 | 91.62 | 12.29 | -3.91 |
| | 0.50L | 0.131 | 0.018 | -0.008 | 92.91 | 12.77 | -5.67 |
| | 0.67L | 0.087 | 0.010 | -0.007 | 96.59 | 11.25 | -7.85 |
| | 0.80L | 0.053 | 0.004 | -0.005 | 102.34 | 8.00 | -10.34 |
| | 0.90L | 0.032 | 0.001 | -0.004 | 109.02 | 3.85 | -12.87 |
| | 0.933L | 0.025 | 0.001 | -0.003 | 111.44 | 2.30 | -13.74 |
| 6.00 | 0.067L | 0.087 | 0.011 | -0.003 | 91.58 | 11.58 | -3.16 |
| | 0.10L | 0.108 | 0.014 | -0.004 | 91.53 | 11.86 | -3.39 |
| | 0.20L | 0.163 | 0.022 | -0.006 | 91.06 | 12.29 | -3.35 |
| | 0.33L | 0.213 | 0.030 | -0.009 | 91.03 | 12.82 | -3.85 |
| | 0.50L | 0.197 | 0.030 | -0.010 | 90.78 | 13.82 | -4.61 |
| | 0.67L | 0.138 | 0.020 | -0.009 | 92.62 | 13.42 | -6.04 |
| | 0.80L | 0.086 | 0.010 | -0.006 | 95.36 | 11.53 | -6.89 |
| | 0.90L | 0.052 | 0.005 | -0.004 | 99.00 | 9.01 | -8.01 |
| | 0.933L | 0.041 | 0.003 | -0.003 | 100.26 | 8.12 | -8.37 |
| 6.00 | 0.067L | 0.064 | 0.008 | -0.004 | 94.12 | 11.76 | -5.88 |
| | 0.10L | 0.081 | 0.010 | -0.004 | 93.10 | 11.49 | -4.60 |
| | 0.20L | 0.130 | 0.018 | -0.007 | 92.20 | 12.77 | -4.96 |
| | 0.33L | 0.197 | 0.030 | -0.009 | 90.37 | 13.76 | -4.13 |
| | 0.50L | 0.243 | 0.038 | -0.011 | 90.00 | 14.07 | -4.07 |
| | 0.67L | 0.197 | 0.030 | -0.009 | 90.37 | 13.76 | -4.13 |
| | 0.80L | 0.130 | 0.018 | -0.007 | 92.20 | 12.77 | -4.96 |
| | 0.90L | 0.081 | 0.010 | -0.004 | 93.58 | 11.50 | -5.08 |
| | 0.933L | 0.064 | 0.008 | -0.004 | 94.15 | 11.02 | -5.17 |

| Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 45.00 m | | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|--------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] | |
| 1.60 | 0.067L | 0.067L | 0.279 | 0.046 | -0.010 | 88.57 | 14.60 | -3.17 |
| | | 0.10L | 0.376 | 0.073 | -0.015 | 86.64 | 16.82 | -3.46 |
| | | 0.20L | 0.462 | 0.137 | -0.017 | 79.38 | 23.54 | -2.92 |
| | | 0.33L | 0.439 | 0.175 | -0.006 | 72.20 | 28.78 | -0.99 |
| | | 0.50L | 0.343 | 0.152 | -0.006 | 70.14 | 31.08 | -1.23 |
| | | 0.67L | 0.218 | 0.092 | -0.023 | 75.96 | 32.06 | -8.01 |
| | | 0.80L | 0.113 | 0.041 | -0.028 | 89.68 | 32.54 | -22.22 |
| | | 0.90L | 0.043 | 0.012 | -0.017 | 111.09 | 32.29 | -43.38 |
| | 0.933L | 0.024 | 0.006 | -0.011 | 124.57 | 32.35 | -56.92 | |
| 1.60 | 0.10L | 0.067L | 0.360 | 0.072 | -0.009 | 85.11 | 17.02 | -2.13 |
| | | 0.10L | 0.540 | 0.120 | -0.009 | 82.95 | 18.43 | -1.38 |
| | | 0.20L | 0.762 | 0.247 | 0.008 | 74.93 | 24.29 | 0.79 |
| | | 0.33L | 0.743 | 0.325 | 0.047 | 66.64 | 29.15 | 4.22 |
| | | 0.50L | 0.581 | 0.289 | 0.050 | 63.15 | 31.41 | 5.43 |
| | | 0.67L | 0.366 | 0.176 | 0.005 | 66.91 | 32.18 | 0.91 |
| | | 0.80L | 0.187 | 0.079 | -0.023 | 76.95 | 32.51 | -9.47 |
| | | 0.90L | 0.069 | 0.024 | -0.019 | 93.15 | 32.46 | -25.61 |
| | 0.933L | 0.038 | 0.012 | -0.013 | 103.27 | 32.55 | -35.82 | |
| 1.60 | 0.20L | 0.067L | 0.417 | 0.134 | 0.006 | 74.87 | 24.06 | 1.08 |
| | | 0.10L | 0.733 | 0.245 | 0.024 | 73.15 | 24.45 | 2.40 |
| | | 0.20L | 1.652 | 0.621 | 0.135 | 68.60 | 25.79 | 5.61 |
| | | 0.33L | 1.898 | 0.920 | 0.310 | 60.68 | 29.41 | 9.91 |
| | | 0.50L | 1.538 | 0.872 | 0.352 | 55.68 | 31.57 | 12.74 |
| | | 0.67L | 0.966 | 0.549 | 0.185 | 56.82 | 32.29 | 10.88 |
| | | 0.80L | 0.484 | 0.251 | 0.036 | 62.78 | 32.56 | 4.67 |
| | | 0.90L | 0.174 | 0.078 | -0.013 | 72.80 | 32.64 | -5.44 |
| | 0.933L | 0.095 | 0.039 | -0.014 | 79.17 | 32.72 | -11.90 | |
| 1.60 | 0.33L | 0.067L | 0.381 | 0.169 | 0.027 | 66.03 | 29.29 | 4.68 |
| | | 0.10L | 0.697 | 0.321 | 0.074 | 63.83 | 29.40 | 6.78 |
| | | 0.20L | 1.879 | 0.918 | 0.322 | 60.24 | 29.43 | 10.32 |
| | | 0.33L | 3.215 | 1.632 | 0.710 | 57.85 | 29.37 | 12.78 |
| | | 0.50L | 2.983 | 1.750 | 0.873 | 53.21 | 31.22 | 15.57 |
| | | 0.67L | 1.914 | 1.168 | 0.555 | 52.63 | 32.11 | 15.26 |
| | | 0.80L | 0.953 | 0.548 | 0.194 | 56.22 | 32.33 | 11.45 |
| | | 0.90L | 0.337 | 0.173 | 0.024 | 63.11 | 32.40 | 4.49 |
| | 0.933L | 0.182 | 0.088 | 0.001 | 67.16 | 32.47 | 0.37 | |
| 1.60 | 0.50L | 0.067L | 0.290 | 0.146 | 0.026 | 62.77 | 31.60 | 5.63 |
| | | 0.10L | 0.538 | 0.285 | 0.077 | 59.78 | 31.67 | 8.56 |
| | | 0.20L | 1.516 | 0.870 | 0.365 | 55.11 | 31.62 | 13.27 |
| | | 0.33L | 2.978 | 1.750 | 0.876 | 53.14 | 31.23 | 15.63 |
| | | 0.50L | 4.100 | 2.305 | 1.199 | 53.92 | 30.31 | 15.77 |
| | | 0.67L | 2.978 | 1.750 | 0.876 | 53.14 | 31.23 | 15.63 |
| | | 0.80L | 1.516 | 0.870 | 0.365 | 55.11 | 31.62 | 13.27 |
| | | 0.90L | 0.538 | 0.285 | 0.077 | 59.78 | 31.67 | 8.56 |
| | 0.933L | 0.290 | 0.146 | 0.026 | 62.77 | 31.60 | 5.63 | |

| Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 45.00 m | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] |
| 2.00 | 0.067L | 0.219 | 0.033 | -0.008 | 89.75 | 13.52 | -3.28 |
| | 0.10L | 0.284 | 0.049 | -0.012 | 88.47 | 15.26 | -3.74 |
| | 0.20L | 0.341 | 0.089 | -0.020 | 83.17 | 21.71 | -4.88 |
| | 0.33L | 0.325 | 0.113 | -0.020 | 77.75 | 27.03 | -4.78 |
| | 0.50L | 0.255 | 0.099 | -0.023 | 77.04 | 29.91 | -6.95 |
| | 0.67L | 0.163 | 0.060 | -0.029 | 84.02 | 30.93 | -14.95 |
| | 0.80L | 0.085 | 0.026 | -0.026 | 99.32 | 30.89 | -30.21 |
| | 0.90L | 0.033 | 0.008 | -0.014 | 123.13 | 30.47 | -53.60 |
| | 0.933L | 0.019 | 0.004 | -0.009 | 138.72 | 30.16 | -68.88 |
| 2.00 | 0.067L | 0.274 | 0.049 | -0.008 | 86.98 | 15.56 | -2.54 |
| | 0.10L | 0.398 | 0.079 | -0.011 | 85.41 | 16.95 | -2.36 |
| | 0.20L | 0.549 | 0.157 | -0.009 | 78.77 | 22.53 | -1.29 |
| | 0.33L | 0.536 | 0.206 | 0.005 | 71.75 | 27.58 | 0.67 |
| | 0.50L | 0.421 | 0.184 | 0.005 | 69.02 | 30.16 | 0.82 |
| | 0.67L | 0.266 | 0.113 | -0.016 | 73.28 | 31.13 | -4.41 |
| | 0.80L | 0.136 | 0.051 | -0.025 | 83.95 | 31.48 | -15.43 |
| | 0.90L | 0.051 | 0.016 | -0.017 | 101.88 | 30.92 | -32.80 |
| | 0.933L | 0.029 | 0.008 | -0.011 | 113.36 | 30.71 | -44.07 |
| 2.00 | 0.067L | 0.311 | 0.088 | -0.002 | 78.34 | 22.17 | -0.50 |
| | 0.10L | 0.529 | 0.156 | 0.004 | 76.78 | 22.64 | 0.58 |
| | 0.20L | 1.162 | 0.388 | 0.049 | 72.67 | 24.27 | 3.06 |
| | 0.33L | 1.334 | 0.575 | 0.133 | 65.33 | 28.16 | 6.51 |
| | 0.50L | 1.083 | 0.548 | 0.158 | 60.54 | 30.63 | 8.83 |
| | 0.67L | 0.680 | 0.347 | 0.074 | 61.76 | 31.52 | 6.72 |
| | 0.80L | 0.342 | 0.159 | 0.002 | 67.99 | 31.61 | 0.40 |
| | 0.90L | 0.125 | 0.050 | -0.016 | 78.62 | 31.45 | -10.06 |
| | 0.933L | 0.070 | 0.026 | -0.014 | 85.77 | 31.30 | -17.07 |
| 2.00 | 0.067L | 0.283 | 0.110 | 0.008 | 70.57 | 27.43 | 2.00 |
| | 0.10L | 0.502 | 0.204 | 0.029 | 68.30 | 27.76 | 3.95 |
| | 0.20L | 1.318 | 0.574 | 0.144 | 64.73 | 28.19 | 7.07 |
| | 0.33L | 2.243 | 1.017 | 0.335 | 62.39 | 28.29 | 9.32 |
| | 0.50L | 2.083 | 1.093 | 0.427 | 57.81 | 30.34 | 11.85 |
| | 0.67L | 1.337 | 0.733 | 0.268 | 57.19 | 31.35 | 11.46 |
| | 0.80L | 0.669 | 0.346 | 0.083 | 60.93 | 31.51 | 7.56 |
| | 0.90L | 0.241 | 0.111 | 0.002 | 68.08 | 31.36 | 0.56 |
| | 0.933L | 0.134 | 0.058 | -0.007 | 72.43 | 31.35 | -3.78 |
| 2.00 | 0.067L | 0.214 | 0.096 | 0.007 | 67.51 | 30.28 | 2.21 |
| | 0.10L | 0.386 | 0.182 | 0.031 | 64.44 | 30.38 | 5.18 |
| | 0.20L | 1.064 | 0.547 | 0.172 | 59.67 | 30.68 | 9.65 |
| | 0.33L | 2.077 | 1.093 | 0.431 | 57.68 | 30.35 | 11.97 |
| | 0.50L | 2.854 | 1.437 | 0.594 | 58.42 | 29.42 | 12.16 |
| | 0.67L | 2.077 | 1.093 | 0.431 | 57.68 | 30.35 | 11.97 |
| | 0.80L | 1.064 | 0.547 | 0.172 | 59.67 | 30.68 | 9.65 |
| | 0.90L | 0.386 | 0.182 | 0.031 | 64.44 | 30.38 | 5.18 |
| | 0.933L | 0.214 | 0.096 | 0.007 | 67.51 | 30.28 | 2.21 |

| Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 45.00 m | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] |
| 4.00 | 0.067L | 0.133 | 0.016 | -0.004 | 91.72 | 11.03 | -2.76 |
| | 0.10L | 0.153 | 0.020 | -0.006 | 91.62 | 11.98 | -3.59 |
| | 0.20L | 0.164 | 0.028 | -0.010 | 90.11 | 15.38 | -5.49 |
| | 0.33L | 0.150 | 0.033 | -0.016 | 89.82 | 19.76 | -9.58 |
| | 0.50L | 0.117 | 0.027 | -0.020 | 94.35 | 21.77 | -16.13 |
| | 0.67L | 0.074 | 0.016 | -0.019 | 104.47 | 22.06 | -26.53 |
| | 0.80L | 0.039 | 0.006 | -0.013 | 122.00 | 19.84 | -41.84 |
| | 0.90L | 0.017 | 0.002 | -0.007 | 151.44 | 14.41 | -65.85 |
| | 0.933L | 0.011 | 0.001 | -0.005 | 171.20 | 10.42 | -81.62 |
| 4.00 | 0.067L | 0.149 | 0.020 | -0.004 | 90.30 | 12.12 | -2.42 |
| | 0.10L | 0.186 | 0.026 | -0.006 | 90.29 | 12.62 | -2.91 |
| | 0.20L | 0.227 | 0.043 | -0.012 | 87.98 | 16.67 | -4.65 |
| | 0.33L | 0.215 | 0.052 | -0.016 | 85.66 | 20.72 | -6.37 |
| | 0.50L | 0.168 | 0.045 | -0.020 | 87.05 | 23.32 | -10.36 |
| | 0.67L | 0.106 | 0.027 | -0.020 | 93.81 | 23.89 | -17.70 |
| | 0.80L | 0.056 | 0.012 | -0.015 | 105.93 | 22.06 | -27.99 |
| | 0.90L | 0.024 | 0.003 | -0.008 | 127.00 | 17.85 | -44.85 |
| | 0.933L | 0.016 | 0.002 | -0.006 | 140.86 | 14.83 | -55.69 |
| 4.00 | 0.067L | 0.156 | 0.029 | -0.005 | 86.67 | 16.11 | -2.78 |
| | 0.10L | 0.223 | 0.043 | -0.008 | 86.43 | 16.67 | -3.10 |
| | 0.20L | 0.410 | 0.092 | -0.014 | 84.02 | 18.85 | -2.87 |
| | 0.33L | 0.459 | 0.129 | -0.016 | 80.24 | 22.55 | -2.80 |
| | 0.50L | 0.376 | 0.122 | -0.016 | 78.01 | 25.31 | -3.32 |
| | 0.67L | 0.238 | 0.077 | -0.019 | 80.41 | 26.01 | -6.42 |
| | 0.80L | 0.123 | 0.035 | -0.017 | 87.23 | 24.82 | -12.06 |
| | 0.90L | 0.052 | 0.012 | -0.011 | 98.38 | 22.25 | -20.63 |
| | 0.933L | 0.034 | 0.006 | -0.008 | 105.80 | 20.39 | -26.18 |
| 4.00 | 0.067L | 0.138 | 0.033 | -0.006 | 83.64 | 20.00 | -3.64 |
| | 0.10L | 0.206 | 0.053 | -0.008 | 82.07 | 21.12 | -3.19 |
| | 0.20L | 0.454 | 0.129 | -0.011 | 79.37 | 22.55 | -1.92 |
| | 0.33L | 0.736 | 0.222 | -0.010 | 77.64 | 23.42 | -1.05 |
| | 0.50L | 0.688 | 0.237 | -0.006 | 74.86 | 25.79 | -0.65 |
| | 0.67L | 0.450 | 0.160 | -0.010 | 75.00 | 26.67 | -1.67 |
| | 0.80L | 0.234 | 0.077 | -0.014 | 78.79 | 25.93 | -4.71 |
| | 0.90L | 0.098 | 0.027 | -0.011 | 85.92 | 23.95 | -9.86 |
| | 0.933L | 0.063 | 0.016 | -0.009 | 90.40 | 22.59 | -12.99 |
| 4.00 | 0.067L | 0.103 | 0.028 | -0.008 | 83.74 | 22.76 | -6.50 |
| | 0.10L | 0.157 | 0.046 | -0.009 | 80.93 | 23.71 | -4.64 |
| | 0.20L | 0.369 | 0.122 | -0.009 | 76.56 | 25.31 | -1.87 |
| | 0.33L | 0.686 | 0.237 | -0.004 | 74.65 | 25.79 | -0.44 |
| | 0.50L | 0.926 | 0.309 | 0.001 | 74.92 | 25.00 | 0.08 |
| | 0.67L | 0.686 | 0.237 | -0.004 | 74.65 | 25.79 | -0.44 |
| | 0.80L | 0.369 | 0.122 | -0.009 | 76.56 | 25.31 | -1.87 |
| | 0.90L | 0.157 | 0.046 | -0.009 | 80.93 | 23.71 | -4.64 |
| | 0.933L | 0.103 | 0.028 | -0.008 | 83.74 | 22.76 | -6.50 |

| Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 45.00 m | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] |
| 6.00 | 0.067L | 0.116 | 0.013 | -0.003 | 92.06 | 10.32 | -2.38 |
| | 0.10L | 0.129 | 0.015 | -0.004 | 92.14 | 10.71 | -2.86 |
| | 0.20L | 0.132 | 0.019 | -0.006 | 91.03 | 13.10 | -4.14 |
| | 0.33L | 0.115 | 0.019 | -0.009 | 92.00 | 15.20 | -7.20 |
| | 0.50L | 0.087 | 0.014 | -0.011 | 96.17 | 16.05 | -12.23 |
| | 0.67L | 0.055 | 0.007 | -0.010 | 106.01 | 14.26 | -20.27 |
| | 0.80L | 0.030 | 0.002 | -0.008 | 122.69 | 8.99 | -31.68 |
| | 0.90L | 0.015 | 0.000 | -0.005 | 150.11 | -1.35 | -48.76 |
| | 0.933L | 0.011 | 0.000 | -0.004 | 165.37 | -7.37 | -58.00 |
| 6.00 | 0.067L | 0.122 | 0.015 | -0.003 | 91.04 | 11.19 | -2.24 |
| | 0.10L | 0.143 | 0.018 | -0.004 | 91.08 | 11.46 | -2.55 |
| | 0.20L | 0.161 | 0.024 | -0.007 | 90.45 | 13.48 | -3.93 |
| | 0.33L | 0.146 | 0.027 | -0.010 | 89.57 | 16.56 | -6.13 |
| | 0.50L | 0.111 | 0.021 | -0.012 | 92.50 | 17.50 | -10.00 |
| | 0.67L | 0.070 | 0.012 | -0.011 | 99.18 | 16.53 | -15.72 |
| | 0.80L | 0.039 | 0.004 | -0.008 | 111.93 | 12.35 | -24.28 |
| | 0.90L | 0.019 | 0.001 | -0.005 | 132.61 | 4.22 | -36.83 |
| | 0.933L | 0.014 | 0.000 | -0.004 | 143.77 | -0.39 | -43.38 |
| 6.00 | 0.067L | 0.123 | 0.019 | -0.004 | 89.13 | 13.77 | -2.90 |
| | 0.10L | 0.159 | 0.025 | -0.006 | 89.33 | 14.04 | -3.37 |
| | 0.20L | 0.244 | 0.043 | -0.010 | 88.09 | 15.52 | -3.61 |
| | 0.33L | 0.262 | 0.056 | -0.013 | 85.90 | 18.36 | -4.26 |
| | 0.50L | 0.211 | 0.051 | -0.014 | 85.08 | 20.56 | -5.65 |
| | 0.67L | 0.136 | 0.031 | -0.013 | 88.31 | 20.13 | -8.44 |
| | 0.80L | 0.074 | 0.014 | -0.010 | 95.01 | 17.87 | -12.88 |
| | 0.90L | 0.037 | 0.004 | -0.007 | 106.27 | 12.92 | -19.18 |
| | 0.933L | 0.027 | 0.002 | -0.005 | 112.01 | 10.27 | -22.28 |
| 6.00 | 0.067L | 0.106 | 0.019 | -0.005 | 88.33 | 15.83 | -4.17 |
| | 0.10L | 0.142 | 0.027 | -0.006 | 87.12 | 16.56 | -3.68 |
| | 0.20L | 0.260 | 0.057 | -0.011 | 84.97 | 18.63 | -3.59 |
| | 0.33L | 0.388 | 0.091 | -0.015 | 83.62 | 19.61 | -3.23 |
| | 0.50L | 0.360 | 0.095 | -0.016 | 82.00 | 21.64 | -3.64 |
| | 0.67L | 0.240 | 0.064 | -0.014 | 82.76 | 22.07 | -4.83 |
| | 0.80L | 0.134 | 0.032 | -0.011 | 86.45 | 20.65 | -7.10 |
| | 0.90L | 0.066 | 0.012 | -0.007 | 93.41 | 17.08 | -10.50 |
| | 0.933L | 0.048 | 0.008 | -0.006 | 96.68 | 15.36 | -12.03 |
| 6.00 | 0.067L | 0.078 | 0.015 | -0.006 | 89.66 | 17.24 | -6.90 |
| | 0.10L | 0.107 | 0.022 | -0.007 | 87.70 | 18.03 | -5.74 |
| | 0.20L | 0.208 | 0.051 | -0.011 | 83.87 | 20.56 | -4.44 |
| | 0.33L | 0.359 | 0.095 | -0.015 | 81.78 | 21.64 | -3.42 |
| | 0.50L | 0.472 | 0.123 | -0.017 | 81.66 | 21.28 | -2.94 |
| | 0.67L | 0.359 | 0.095 | -0.015 | 81.78 | 21.64 | -3.42 |
| | 0.80L | 0.208 | 0.051 | -0.011 | 83.87 | 20.56 | -4.44 |
| | 0.90L | 0.107 | 0.022 | -0.007 | 87.70 | 18.03 | -5.74 |
| | 0.933L | 0.078 | 0.015 | -0.006 | 89.55 | 16.98 | -6.54 |

| Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 60.00 m | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] |
| 1.60 | 0.067L | 0.410 | 0.088 | -0.007 | 83.50 | 17.92 | -1.43 |
| | 0.100L | 0.556 | 0.144 | -0.003 | 79.77 | 20.66 | -0.43 |
| | 0.200L | 0.688 | 0.281 | 0.041 | 68.12 | 27.82 | 4.06 |
| | 0.333L | 0.659 | 0.350 | 0.103 | 59.26 | 31.47 | 9.26 |
| | 0.500L | 0.520 | 0.300 | 0.099 | 56.58 | 32.64 | 10.77 |
| | 0.661L | 0.340 | 0.184 | 0.034 | 60.93 | 32.97 | 6.09 |
| | 0.796L | 0.178 | 0.082 | -0.014 | 72.36 | 33.33 | -5.69 |
| | 0.898L | 0.067 | 0.024 | -0.018 | 92.04 | 33.46 | -25.51 |
| | 0.932L | 0.036 | 0.012 | -0.013 | 104.32 | 33.67 | -37.99 |
| 1.60 | 0.075L | 0.620 | 0.167 | 0.008 | 77.99 | 21.01 | 1.01 |
| | 0.100L | 0.838 | 0.248 | 0.025 | 75.43 | 22.32 | 2.25 |
| | 0.200L | 1.188 | 0.522 | 0.141 | 64.18 | 28.20 | 7.62 |
| | 0.333L | 1.171 | 0.673 | 0.284 | 55.03 | 31.63 | 13.35 |
| | 0.500L | 0.933 | 0.590 | 0.278 | 51.80 | 32.76 | 15.44 |
| | 0.661L | 0.606 | 0.366 | 0.133 | 54.84 | 33.12 | 12.04 |
| | 0.796L | 0.312 | 0.163 | 0.016 | 63.54 | 33.20 | 3.26 |
| | 0.898L | 0.114 | 0.049 | -0.018 | 78.62 | 33.79 | -12.41 |
| | 0.932L | 0.062 | 0.024 | -0.015 | 87.91 | 33.69 | -21.59 |
| 1.60 | 0.075L | 0.752 | 0.328 | 0.083 | 64.66 | 28.20 | 7.14 |
| | 0.100L | 1.115 | 0.519 | 0.157 | 62.26 | 28.98 | 8.77 |
| | 0.200L | 2.734 | 1.362 | 0.599 | 58.23 | 29.01 | 12.76 |
| | 0.333L | 3.168 | 1.997 | 1.149 | 50.17 | 31.63 | 18.20 |
| | 0.500L | 2.630 | 1.866 | 1.199 | 46.18 | 32.77 | 21.05 |
| | 0.661L | 1.708 | 1.193 | 0.705 | 47.37 | 33.08 | 19.55 |
| | 0.796L | 0.854 | 0.540 | 0.230 | 52.59 | 33.25 | 14.16 |
| | 0.898L | 0.301 | 0.163 | 0.023 | 61.81 | 33.47 | 4.72 |
| | 0.932L | 0.159 | 0.080 | -0.003 | 67.37 | 33.90 | -1.27 |
| 1.60 | 0.075L | 0.710 | 0.410 | 0.165 | 55.25 | 31.91 | 12.84 |
| | 0.100L | 1.122 | 0.667 | 0.305 | 53.58 | 31.85 | 14.57 |
| | 0.200L | 3.151 | 1.997 | 1.156 | 49.98 | 31.68 | 18.34 |
| | 0.333L | 5.527 | 3.599 | 2.360 | 48.12 | 31.33 | 20.55 |
| | 0.500L | 5.209 | 3.836 | 2.749 | 44.17 | 32.53 | 23.31 |
| | 0.661L | 3.450 | 2.590 | 1.812 | 43.94 | 32.99 | 23.08 |
| | 0.796L | 1.712 | 1.205 | 0.716 | 47.12 | 33.17 | 19.71 |
| | 0.898L | 0.589 | 0.369 | 0.149 | 53.21 | 33.33 | 13.46 |
| | 0.932L | 0.308 | 0.181 | 0.052 | 56.93 | 33.46 | 9.61 |
| 1.60 | 0.075L | 0.538 | 0.355 | 0.171 | 50.56 | 33.36 | 16.07 |
| | 0.100L | 0.861 | 0.587 | 0.318 | 48.75 | 33.24 | 18.01 |
| | 0.200L | 2.542 | 1.877 | 1.262 | 44.75 | 33.04 | 22.21 |
| | 0.333L | 5.070 | 3.867 | 2.847 | 43.02 | 32.82 | 24.16 |
| | 0.500L | 6.993 | 5.201 | 3.855 | 43.57 | 32.41 | 24.02 |
| | 0.661L | 5.192 | 3.962 | 2.923 | 42.99 | 32.81 | 24.20 |
| | 0.796L | 2.630 | 1.946 | 1.317 | 44.63 | 33.02 | 22.35 |
| | 0.898L | 0.902 | 0.616 | 0.337 | 48.63 | 33.21 | 18.17 |
| | 0.932L | 0.469 | 0.306 | 0.142 | 51.15 | 33.37 | 15.49 |

| Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 60.00 m | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] |
| 2.00 0.067L | 0.067L | 0.308 | 0.059 | -0.008 | 85.79 | 16.43 | -2.23 |
| | 0.100L | 0.410 | 0.095 | -0.008 | 82.49 | 19.11 | -1.61 |
| | 0.200L | 0.499 | 0.182 | 0.009 | 72.32 | 26.38 | 1.30 |
| | 0.333L | 0.476 | 0.228 | 0.042 | 63.81 | 30.56 | 5.63 |
| | 0.500L | 0.374 | 0.196 | 0.040 | 61.31 | 32.13 | 6.56 |
| | 0.661L | 0.246 | 0.121 | 0.003 | 66.49 | 32.70 | 0.81 |
| | 0.796L | 0.130 | 0.054 | -0.021 | 79.75 | 33.13 | -12.88 |
| | 0.898L | 0.050 | 0.016 | -0.017 | 102.12 | 32.94 | -35.06 |
| | 0.932L | 0.028 | 0.008 | -0.012 | 116.41 | 33.03 | -49.43 |
| 2.00 0.10L | 0.075L | 0.455 | 0.110 | -0.001 | 80.67 | 19.50 | -0.18 |
| | 0.100L | 0.605 | 0.161 | 0.006 | 78.37 | 20.85 | 0.78 |
| | 0.200L | 0.846 | 0.334 | 0.063 | 68.06 | 26.87 | 5.07 |
| | 0.333L | 0.830 | 0.433 | 0.145 | 58.95 | 30.75 | 10.30 |
| | 0.500L | 0.657 | 0.382 | 0.144 | 55.54 | 32.29 | 12.17 |
| | 0.661L | 0.428 | 0.237 | 0.059 | 59.12 | 32.73 | 8.15 |
| | 0.796L | 0.222 | 0.106 | -0.006 | 68.94 | 32.92 | -1.86 |
| | 0.898L | 0.083 | 0.032 | -0.018 | 85.77 | 33.02 | -18.79 |
| | 0.932L | 0.046 | 0.016 | -0.014 | 96.50 | 33.12 | -29.63 |
| 2.00 0.20L | 0.075L | 0.543 | 0.213 | 0.040 | 68.22 | 26.76 | 5.03 |
| | 0.100L | 0.821 | 0.332 | 0.078 | 66.69 | 26.97 | 6.34 |
| | 0.200L | 1.910 | 0.864 | 0.315 | 61.83 | 27.97 | 10.20 |
| | 0.333L | 2.196 | 1.271 | 0.637 | 53.51 | 30.97 | 15.52 |
| | 0.500L | 1.806 | 1.193 | 0.683 | 49.05 | 32.40 | 18.55 |
| | 0.661L | 1.172 | 0.765 | 0.393 | 50.30 | 32.83 | 16.87 |
| | 0.796L | 0.592 | 0.347 | 0.114 | 56.22 | 32.95 | 10.83 |
| | 0.898L | 0.212 | 0.106 | 0.002 | 66.25 | 33.13 | 0.63 |
| | 0.932L | 0.115 | 0.052 | -0.010 | 73.25 | 33.12 | -6.37 |
| 2.00 0.33L | 0.075L | 0.507 | 0.267 | 0.090 | 58.68 | 30.90 | 10.42 |
| | 0.100L | 0.791 | 0.429 | 0.167 | 57.03 | 30.93 | 12.04 |
| | 0.200L | 2.182 | 1.270 | 0.646 | 53.25 | 30.99 | 15.76 |
| | 0.333L | 3.796 | 2.282 | 1.344 | 51.15 | 30.75 | 18.11 |
| | 0.500L | 3.548 | 2.437 | 1.596 | 46.80 | 32.15 | 21.05 |
| | 0.661L | 2.345 | 1.651 | 1.052 | 46.45 | 32.71 | 20.84 |
| | 0.796L | 1.171 | 0.771 | 0.402 | 49.96 | 32.89 | 17.15 |
| | 0.898L | 0.410 | 0.239 | 0.075 | 56.63 | 33.01 | 10.36 |
| | 0.932L | 0.219 | 0.119 | 0.021 | 61.00 | 33.15 | 5.85 |
| 2.00 0.50L | 0.075L | 0.394 | 0.231 | 0.084 | 55.57 | 32.58 | 11.85 |
| | 0.100L | 0.621 | 0.378 | 0.164 | 53.40 | 32.50 | 14.10 |
| | 0.200L | 1.790 | 1.193 | 0.692 | 48.71 | 32.46 | 18.83 |
| | 0.333L | 3.544 | 2.438 | 1.598 | 46.75 | 32.16 | 21.08 |
| | 0.500L | 4.913 | 3.242 | 2.168 | 47.59 | 31.41 | 21.00 |
| | 0.661L | 3.627 | 2.495 | 1.640 | 46.73 | 32.14 | 21.13 |
| | 0.796L | 1.848 | 1.235 | 0.722 | 48.57 | 32.46 | 18.98 |
| | 0.898L | 0.648 | 0.395 | 0.173 | 53.29 | 32.48 | 14.23 |
| | 0.932L | 0.345 | 0.199 | 0.068 | 56.37 | 32.52 | 11.11 |

| Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 60.00 m | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] |
| 4.00 | 0.067L | 0.154 | 0.021 | -0.005 | 90.59 | 12.35 | -2.94 |
| | 0.100L | 0.185 | 0.030 | -0.007 | 88.94 | 14.42 | -3.37 |
| | 0.200L | 0.206 | 0.049 | -0.011 | 84.43 | 20.08 | -4.51 |
| | 0.333L | 0.195 | 0.060 | -0.014 | 80.91 | 24.90 | -5.81 |
| | 0.500L | 0.155 | 0.052 | -0.019 | 82.45 | 27.66 | -10.11 |
| | 0.661L | 0.102 | 0.031 | -0.022 | 91.89 | 27.93 | -19.82 |
| | 0.796L | 0.054 | 0.014 | -0.019 | 109.97 | 27.61 | -37.58 |
| | 0.898L | 0.022 | 0.004 | -0.010 | 140.68 | 25.25 | -65.93 |
| | 0.932L | 0.014 | 0.002 | -0.007 | 162.85 | 23.24 | -86.09 |
| 4.00 | 0.075L | 0.199 | 0.034 | -0.005 | 87.28 | 14.91 | -2.19 |
| | 0.100L | 0.245 | 0.045 | -0.006 | 86.27 | 15.85 | -2.11 |
| | 0.200L | 0.315 | 0.083 | -0.008 | 80.77 | 21.28 | -2.05 |
| | 0.333L | 0.307 | 0.106 | -0.005 | 75.25 | 25.98 | -1.23 |
| | 0.500L | 0.244 | 0.094 | -0.009 | 74.16 | 28.57 | -2.74 |
| | 0.661L | 0.159 | 0.058 | -0.018 | 79.90 | 29.15 | -9.05 |
| | 0.796L | 0.083 | 0.026 | -0.019 | 92.39 | 28.69 | -21.09 |
| | 0.898L | 0.033 | 0.008 | -0.012 | 114.46 | 26.87 | -41.34 |
| | 0.932L | 0.020 | 0.004 | -0.009 | 130.26 | 25.36 | -55.62 |
| 4.00 | 0.075L | 0.222 | 0.058 | -0.002 | 79.86 | 20.86 | -0.72 |
| | 0.100L | 0.308 | 0.084 | -0.001 | 78.77 | 21.48 | -0.26 |
| | 0.200L | 0.642 | 0.201 | 0.012 | 75.09 | 23.51 | 1.40 |
| | 0.333L | 0.733 | 0.291 | 0.042 | 68.76 | 27.30 | 3.94 |
| | 0.500L | 0.604 | 0.275 | 0.051 | 64.95 | 29.57 | 5.48 |
| | 0.661L | 0.391 | 0.177 | 0.019 | 66.61 | 30.15 | 3.24 |
| | 0.796L | 0.200 | 0.081 | -0.009 | 73.53 | 29.78 | -3.31 |
| | 0.898L | 0.078 | 0.026 | -0.013 | 86.24 | 28.76 | -15.00 |
| | 0.932L | 0.047 | 0.014 | -0.011 | 95.32 | 27.78 | -23.10 |
| 4.00 | 0.075L | 0.203 | 0.070 | 0.003 | 73.55 | 25.36 | 1.09 |
| | 0.100L | 0.292 | 0.106 | 0.009 | 71.74 | 26.04 | 2.21 |
| | 0.200L | 0.725 | 0.291 | 0.049 | 68.08 | 27.32 | 4.60 |
| | 0.333L | 1.226 | 0.513 | 0.120 | 65.95 | 27.60 | 6.46 |
| | 0.500L | 1.147 | 0.549 | 0.157 | 61.90 | 29.63 | 8.47 |
| | 0.661L | 0.760 | 0.375 | 0.099 | 61.60 | 30.38 | 8.02 |
| | 0.796L | 0.386 | 0.178 | 0.025 | 65.53 | 30.22 | 4.24 |
| | 0.898L | 0.148 | 0.059 | -0.006 | 73.63 | 29.35 | -2.99 |
| | 0.932L | 0.088 | 0.031 | -0.009 | 79.48 | 28.49 | -7.97 |
| 4.00 | 0.075L | 0.155 | 0.061 | 0.000 | 71.76 | 28.24 | 0.00 |
| | 0.100L | 0.226 | 0.093 | 0.007 | 69.33 | 28.53 | 2.15 |
| | 0.200L | 0.593 | 0.275 | 0.061 | 63.83 | 29.60 | 6.57 |
| | 0.333L | 1.144 | 0.549 | 0.160 | 61.74 | 29.63 | 8.63 |
| | 0.500L | 1.569 | 0.724 | 0.222 | 62.39 | 28.79 | 8.83 |
| | 0.661L | 1.169 | 0.561 | 0.164 | 61.72 | 29.62 | 8.66 |
| | 0.796L | 0.611 | 0.283 | 0.064 | 63.78 | 29.54 | 6.68 |
| | 0.898L | 0.235 | 0.097 | 0.008 | 69.12 | 28.53 | 2.35 |
| | 0.932L | 0.140 | 0.053 | -0.001 | 72.92 | 27.60 | -0.52 |

| Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 60.00 m | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] |
| 6.00 | 0.067L | 0.124 | 0.015 | -0.003 | 91.18 | 11.03 | -2.21 |
| | 0.100L | 0.141 | 0.019 | -0.005 | 90.97 | 12.26 | -3.23 |
| | 0.200L | 0.147 | 0.027 | -0.008 | 88.55 | 16.27 | -4.82 |
| | 0.333L | 0.133 | 0.031 | -0.012 | 87.50 | 20.39 | -7.89 |
| | 0.500L | 0.103 | 0.025 | -0.015 | 91.15 | 22.12 | -13.27 |
| | 0.661L | 0.067 | 0.015 | -0.016 | 101.61 | 21.95 | -23.56 |
| | 0.796L | 0.036 | 0.006 | -0.012 | 120.34 | 19.12 | -39.46 |
| | 0.898L | 0.016 | 0.001 | -0.007 | 153.80 | 11.94 | -65.74 |
| | 0.932L | 0.011 | 0.000 | -0.005 | 176.70 | 6.55 | -83.25 |
| 6.00 | 0.075L | 0.146 | 0.021 | -0.004 | 89.57 | 12.88 | -2.45 |
| | 0.100L | 0.168 | 0.026 | -0.005 | 88.89 | 13.76 | -2.65 |
| | 0.200L | 0.200 | 0.041 | -0.009 | 86.21 | 17.67 | -3.88 |
| | 0.333L | 0.188 | 0.049 | -0.011 | 83.19 | 21.68 | -4.87 |
| | 0.500L | 0.148 | 0.042 | -0.015 | 84.57 | 24.00 | -8.57 |
| | 0.661L | 0.096 | 0.025 | -0.016 | 91.08 | 23.92 | -15.00 |
| | 0.796L | 0.051 | 0.011 | -0.013 | 104.44 | 21.82 | -26.25 |
| | 0.898L | 0.023 | 0.003 | -0.008 | 128.51 | 16.38 | -44.89 |
| | 0.932L | 0.015 | 0.001 | -0.006 | 144.61 | 12.39 | -57.01 |
| 6.00 | 0.075L | 0.155 | 0.031 | -0.005 | 85.64 | 17.13 | -2.76 |
| | 0.100L | 0.198 | 0.041 | -0.006 | 84.98 | 17.60 | -2.58 |
| | 0.200L | 0.357 | 0.087 | -0.009 | 82.07 | 20.00 | -2.07 |
| | 0.333L | 0.397 | 0.121 | -0.007 | 77.69 | 23.68 | -1.37 |
| | 0.500L | 0.326 | 0.113 | -0.007 | 75.46 | 26.16 | -1.62 |
| | 0.661L | 0.212 | 0.072 | -0.012 | 77.94 | 26.47 | -4.41 |
| | 0.796L | 0.111 | 0.033 | -0.013 | 84.73 | 25.19 | -9.92 |
| | 0.898L | 0.048 | 0.011 | -0.010 | 98.19 | 21.95 | -20.14 |
| | 0.932L | 0.032 | 0.006 | -0.008 | 106.82 | 19.58 | -26.40 |
| 6.00 | 0.075L | 0.138 | 0.035 | -0.005 | 82.14 | 20.83 | -2.98 |
| | 0.100L | 0.183 | 0.049 | -0.005 | 80.62 | 21.59 | -2.20 |
| | 0.200L | 0.394 | 0.121 | -0.004 | 77.10 | 23.68 | -0.78 |
| | 0.333L | 0.635 | 0.208 | 0.002 | 75.15 | 24.62 | 0.24 |
| | 0.500L | 0.595 | 0.220 | 0.008 | 72.30 | 26.73 | 0.97 |
| | 0.661L | 0.399 | 0.151 | 0.000 | 72.55 | 27.45 | 0.00 |
| | 0.796L | 0.210 | 0.073 | -0.009 | 76.64 | 26.64 | -3.28 |
| | 0.898L | 0.090 | 0.026 | -0.010 | 84.86 | 24.10 | -8.95 |
| | 0.932L | 0.060 | 0.015 | -0.008 | 90.11 | 22.39 | -12.50 |
| 6.00 | 0.075L | 0.104 | 0.029 | -0.006 | 81.89 | 22.83 | -4.72 |
| | 0.100L | 0.140 | 0.042 | -0.006 | 79.55 | 23.86 | -3.41 |
| | 0.200L | 0.321 | 0.113 | -0.002 | 74.31 | 26.16 | -0.46 |
| | 0.333L | 0.593 | 0.220 | 0.010 | 72.05 | 26.73 | 1.22 |
| | 0.500L | 0.801 | 0.289 | 0.017 | 72.36 | 26.11 | 1.54 |
| | 0.661L | 0.606 | 0.225 | 0.010 | 72.06 | 26.75 | 1.19 |
| | 0.796L | 0.330 | 0.116 | -0.002 | 74.32 | 26.13 | -0.45 |
| | 0.898L | 0.145 | 0.044 | -0.007 | 79.67 | 24.18 | -3.85 |
| | 0.932L | 0.096 | 0.026 | -0.006 | 82.74 | 22.61 | -5.36 |

| Querverteilung für Lastfall - D Linienlast; L = 30.00 m | | | | | | | | |
|---|-----|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|-------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] | |
| 1.60 | L | 0.067L | 0.015 | 0.049 | 0.015 | 19.23 | 61.54 | 19.23 |
| | | 0.10L | 0.027 | 0.077 | 0.027 | 20.82 | 58.35 | 20.82 |
| | | 0.20L | 0.076 | 0.170 | 0.076 | 23.60 | 52.80 | 23.60 |
| | | 0.33L | 0.141 | 0.276 | 0.141 | 25.27 | 49.46 | 25.27 |
| | | 0.50L | 0.177 | 0.329 | 0.177 | 25.92 | 48.17 | 25.92 |
| 2.00 | L | 0.067L | 0.010 | 0.041 | 0.010 | 16.31 | 67.39 | 16.31 |
| | | 0.10L | 0.017 | 0.062 | 0.017 | 17.93 | 64.14 | 17.93 |
| | | 0.20L | 0.046 | 0.128 | 0.046 | 20.91 | 58.18 | 20.91 |
| | | 0.33L | 0.085 | 0.201 | 0.085 | 22.91 | 54.18 | 22.91 |
| | | 0.50L | 0.106 | 0.238 | 0.106 | 23.56 | 52.89 | 23.56 |
| 4.00 | L | 0.067L | 0.003 | 0.031 | 0.003 | 8.65 | 82.69 | 8.65 |
| | | 0.10L | 0.005 | 0.039 | 0.005 | 9.60 | 80.80 | 9.60 |
| | | 0.20L | 0.010 | 0.062 | 0.010 | 12.10 | 75.80 | 12.10 |
| | | 0.33L | 0.017 | 0.086 | 0.017 | 14.17 | 71.65 | 14.17 |
| | | 0.50L | 0.021 | 0.098 | 0.021 | 15.03 | 69.94 | 15.03 |
| 6.00 | L | 0.067L | 0.002 | 0.028 | 0.002 | 6.16 | 87.67 | 6.16 |
| | | 0.10L | 0.003 | 0.034 | 0.003 | 6.63 | 86.75 | 6.63 |
| | | 0.20L | 0.005 | 0.047 | 0.005 | 8.13 | 83.73 | 8.13 |
| | | 0.33L | 0.007 | 0.060 | 0.007 | 9.68 | 80.65 | 9.68 |
| | | 0.50L | 0.009 | 0.066 | 0.009 | 10.37 | 79.25 | 10.37 |

| Querverteilung für Lastfall - D Linienlast; L = 45.00 m | | | | | | | | |
|---|-----|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|-------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] | |
| 1.60 | L | 0.067L | 0.066 | 0.116 | 0.066 | 26.61 | 46.77 | 26.61 |
| | | 0.10L | 0.127 | 0.203 | 0.127 | 27.79 | 44.42 | 27.79 |
| | | 0.20L | 0.372 | 0.511 | 0.372 | 29.64 | 40.72 | 29.64 |
| | | 0.33L | 0.703 | 0.884 | 0.703 | 30.70 | 38.60 | 30.70 |
| | | 0.50L | 0.884 | 1.081 | 0.884 | 31.03 | 37.94 | 31.03 |
| 2.00 | L | 0.067L | 0.043 | 0.089 | 0.043 | 24.46 | 51.08 | 24.46 |
| | | 0.10L | 0.080 | 0.149 | 0.080 | 25.89 | 48.22 | 25.89 |
| | | 0.20L | 0.232 | 0.357 | 0.232 | 28.26 | 43.48 | 28.26 |
| | | 0.33L | 0.437 | 0.606 | 0.437 | 29.53 | 40.95 | 29.53 |
| | | 0.50L | 0.550 | 0.735 | 0.550 | 29.97 | 40.05 | 29.97 |
| 4.00 | L | 0.067L | 0.012 | 0.052 | 0.012 | 15.73 | 68.54 | 15.73 |
| | | 0.10L | 0.020 | 0.073 | 0.020 | 17.64 | 64.73 | 17.64 |
| | | 0.20L | 0.051 | 0.137 | 0.051 | 21.34 | 57.32 | 21.34 |
| | | 0.33L | 0.093 | 0.210 | 0.093 | 23.48 | 53.03 | 23.48 |
| | | 0.50L | 0.116 | 0.246 | 0.116 | 24.27 | 51.46 | 24.27 |
| 6.00 | L | 0.067L | 0.007 | 0.046 | 0.007 | 11.11 | 77.78 | 11.11 |
| | | 0.10L | 0.010 | 0.057 | 0.010 | 12.49 | 75.02 | 12.49 |
| | | 0.20L | 0.021 | 0.091 | 0.021 | 15.90 | 68.21 | 15.90 |
| | | 0.33L | 0.037 | 0.128 | 0.037 | 18.32 | 63.37 | 18.32 |
| | | 0.50L | 0.046 | 0.146 | 0.046 | 19.33 | 61.34 | 19.33 |

| Querverteilung für Lastfall - D Linienlast; L = 60.00 m | | | | | | | | |
|---|-----|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|-------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] | |
| 1.60 | L | 0.075L | 0.216 | 0.292 | 0.216 | 29.83 | 40.33 | 29.83 |
| | | 0.10L | 0.354 | 0.454 | 0.354 | 30.46 | 39.07 | 30.46 |
| | | 0.20L | 1.077 | 1.246 | 1.077 | 31.68 | 36.65 | 31.68 |
| | | 0.33L | 2.055 | 2.257 | 2.055 | 32.28 | 35.45 | 32.28 |
| | | 0.50L | 2.599 | 2.808 | 2.599 | 32.46 | 35.07 | 32.46 |
| 2.00 | L | 0.075L | 0.141 | 0.208 | 0.141 | 28.78 | 42.45 | 28.78 |
| | | 0.10L | 0.228 | 0.318 | 0.228 | 29.46 | 41.09 | 29.46 |
| | | 0.20L | 0.686 | 0.841 | 0.686 | 31.00 | 38.00 | 31.00 |
| | | 0.33L | 1.304 | 1.500 | 1.304 | 31.74 | 36.51 | 31.74 |
| | | 0.50L | 1.648 | 1.856 | 1.648 | 31.99 | 36.02 | 31.99 |
| 4.00 | L | 0.075L | 0.036 | 0.091 | 0.036 | 22.24 | 55.52 | 22.24 |
| | | 0.10L | 0.056 | 0.124 | 0.056 | 23.73 | 52.54 | 23.73 |
| | | 0.20L | 0.156 | 0.272 | 0.156 | 26.71 | 46.58 | 26.71 |
| | | 0.33L | 0.292 | 0.447 | 0.292 | 28.32 | 43.36 | 28.32 |
| | | 0.50L | 0.367 | 0.539 | 0.367 | 28.83 | 42.34 | 28.83 |
| 6.00 | L | 0.075L | 0.018 | 0.069 | 0.018 | 16.83 | 66.35 | 16.83 |
| | | 0.10L | 0.025 | 0.087 | 0.025 | 18.34 | 63.31 | 18.34 |
| | | 0.20L | 0.064 | 0.160 | 0.064 | 22.22 | 55.56 | 22.22 |
| | | 0.33L | 0.117 | 0.243 | 0.117 | 24.53 | 50.94 | 24.53 |
| | | 0.50L | 0.146 | 0.285 | 0.146 | 25.30 | 49.39 | 25.30 |

| Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 30.00 m | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] |
| 1.60 | 0.067L | 0.023 | 0.136 | 0.023 | 12.64 | 74.73 | 12.64 |
| | 0.10L | 0.033 | 0.169 | 0.033 | 14.04 | 71.91 | 14.04 |
| | 0.20L | 0.058 | 0.189 | 0.058 | 19.02 | 61.97 | 19.02 |
| | 0.33L | 0.074 | 0.160 | 0.074 | 24.03 | 51.95 | 24.03 |
| | 0.50L | 0.066 | 0.112 | 0.066 | 27.05 | 45.90 | 27.05 |
| | 0.67L | 0.041 | 0.062 | 0.041 | 28.28 | 43.44 | 28.28 |
| | 0.80L | 0.018 | 0.029 | 0.018 | 28.11 | 43.78 | 28.11 |
| | 0.90L | 0.006 | 0.010 | 0.006 | 26.89 | 46.21 | 26.89 |
| | 0.933L | 0.003 | 0.006 | 0.003 | 25.88 | 48.25 | 25.88 |
| 1.60 | 0.067L | 0.031 | 0.157 | 0.031 | 14.16 | 71.69 | 14.16 |
| | 0.10L | 0.047 | 0.213 | 0.047 | 15.31 | 69.38 | 15.31 |
| | 0.20L | 0.089 | 0.277 | 0.089 | 19.56 | 60.88 | 19.56 |
| | 0.33L | 0.118 | 0.246 | 0.118 | 24.48 | 51.04 | 24.48 |
| | 0.50L | 0.108 | 0.176 | 0.108 | 27.55 | 44.90 | 27.55 |
| | 0.67L | 0.067 | 0.100 | 0.067 | 28.63 | 42.74 | 28.63 |
| | 0.80L | 0.031 | 0.046 | 0.031 | 28.57 | 42.86 | 28.57 |
| | 0.90L | 0.010 | 0.016 | 0.010 | 27.50 | 45.01 | 27.50 |
| | 0.933L | 0.005 | 0.009 | 0.005 | 26.59 | 46.83 | 26.59 |
| 1.60 | 0.067L | 0.050 | 0.168 | 0.050 | 18.66 | 62.69 | 18.66 |
| | 0.10L | 0.084 | 0.267 | 0.084 | 19.31 | 61.38 | 19.31 |
| | 0.20L | 0.198 | 0.532 | 0.198 | 21.34 | 57.33 | 21.34 |
| | 0.33L | 0.292 | 0.584 | 0.292 | 25.00 | 50.00 | 25.00 |
| | 0.50L | 0.285 | 0.447 | 0.285 | 28.02 | 43.95 | 28.02 |
| | 0.67L | 0.184 | 0.262 | 0.184 | 29.21 | 41.59 | 29.21 |
| | 0.80L | 0.086 | 0.123 | 0.086 | 29.15 | 41.69 | 29.15 |
| | 0.90L | 0.028 | 0.043 | 0.028 | 28.31 | 43.37 | 28.31 |
| | 0.933L | 0.015 | 0.024 | 0.015 | 27.57 | 44.87 | 27.57 |
| 1.60 | 0.067L | 0.061 | 0.139 | 0.061 | 23.37 | 53.26 | 23.37 |
| | 0.10L | 0.108 | 0.232 | 0.108 | 24.11 | 51.79 | 24.11 |
| | 0.20L | 0.288 | 0.579 | 0.288 | 24.94 | 50.13 | 24.94 |
| | 0.33L | 0.502 | 0.966 | 0.502 | 25.48 | 49.04 | 25.48 |
| | 0.50L | 0.545 | 0.875 | 0.545 | 27.74 | 44.53 | 27.74 |
| | 0.67L | 0.373 | 0.539 | 0.373 | 29.03 | 41.95 | 29.03 |
| | 0.80L | 0.180 | 0.259 | 0.180 | 29.08 | 41.84 | 29.08 |
| | 0.90L | 0.061 | 0.092 | 0.061 | 28.37 | 43.26 | 28.37 |
| | 0.933L | 0.033 | 0.052 | 0.033 | 27.69 | 44.61 | 27.69 |
| 1.60 | 0.067L | 0.053 | 0.095 | 0.053 | 26.51 | 46.97 | 26.51 |
| | 0.10L | 0.098 | 0.164 | 0.098 | 27.22 | 45.56 | 27.22 |
| | 0.20L | 0.279 | 0.440 | 0.279 | 27.96 | 44.09 | 27.96 |
| | 0.33L | 0.543 | 0.873 | 0.543 | 27.72 | 44.56 | 27.72 |
| | 0.50L | 0.707 | 1.214 | 0.707 | 26.90 | 46.19 | 26.90 |
| | 0.67L | 0.543 | 0.873 | 0.543 | 27.72 | 44.56 | 27.72 |
| | 0.80L | 0.279 | 0.440 | 0.279 | 27.96 | 44.09 | 27.96 |
| | 0.90L | 0.098 | 0.164 | 0.098 | 27.22 | 45.56 | 27.22 |
| | 0.933L | 0.053 | 0.095 | 0.053 | 26.51 | 46.97 | 26.51 |

| Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 30.00 m | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] |
| 2.00 | 0.067L | 0.019 | 0.120 | 0.019 | 12.03 | 75.95 | 12.03 |
| | 0.10L | 0.025 | 0.143 | 0.025 | 12.95 | 74.09 | 12.95 |
| | 0.20L | 0.040 | 0.154 | 0.040 | 17.09 | 65.81 | 17.09 |
| | 0.33L | 0.049 | 0.130 | 0.049 | 21.49 | 57.02 | 21.49 |
| | 0.50L | 0.044 | 0.090 | 0.044 | 24.58 | 50.83 | 24.58 |
| | 0.67L | 0.026 | 0.051 | 0.026 | 25.53 | 48.94 | 25.53 |
| | 0.80L | 0.012 | 0.024 | 0.012 | 24.87 | 50.26 | 24.87 |
| | 0.90L | 0.004 | 0.009 | 0.004 | 22.70 | 54.59 | 22.70 |
| | 0.933L | 0.002 | 0.005 | 0.002 | 21.04 | 57.93 | 21.04 |
| 2.00 | 0.067L | 0.023 | 0.134 | 0.023 | 12.78 | 74.44 | 12.78 |
| | 0.10L | 0.033 | 0.174 | 0.033 | 13.75 | 72.50 | 13.75 |
| | 0.20L | 0.059 | 0.216 | 0.059 | 17.66 | 64.67 | 17.66 |
| | 0.33L | 0.076 | 0.190 | 0.076 | 22.22 | 55.56 | 22.22 |
| | 0.50L | 0.069 | 0.135 | 0.069 | 25.27 | 49.45 | 25.27 |
| | 0.67L | 0.042 | 0.077 | 0.042 | 26.18 | 47.64 | 26.18 |
| | 0.80L | 0.019 | 0.036 | 0.019 | 25.67 | 48.66 | 25.67 |
| | 0.90L | 0.006 | 0.013 | 0.006 | 23.80 | 52.39 | 23.80 |
| | 0.933L | 0.003 | 0.008 | 0.003 | 22.36 | 55.27 | 22.36 |
| 2.00 | 0.067L | 0.035 | 0.140 | 0.035 | 16.67 | 66.67 | 16.67 |
| | 0.10L | 0.056 | 0.210 | 0.056 | 17.39 | 65.22 | 17.39 |
| | 0.20L | 0.125 | 0.395 | 0.125 | 19.38 | 61.24 | 19.38 |
| | 0.33L | 0.181 | 0.426 | 0.181 | 22.97 | 54.06 | 22.97 |
| | 0.50L | 0.175 | 0.324 | 0.175 | 25.96 | 48.07 | 25.96 |
| | 0.67L | 0.113 | 0.192 | 0.113 | 27.03 | 45.93 | 27.03 |
| | 0.80L | 0.053 | 0.092 | 0.053 | 26.81 | 46.39 | 26.81 |
| | 0.90L | 0.018 | 0.034 | 0.018 | 25.39 | 49.22 | 25.39 |
| | 0.933L | 0.010 | 0.021 | 0.010 | 24.28 | 51.44 | 24.28 |
| 2.00 | 0.067L | 0.042 | 0.115 | 0.042 | 21.11 | 57.79 | 21.11 |
| | 0.10L | 0.070 | 0.181 | 0.070 | 21.81 | 56.39 | 21.81 |
| | 0.20L | 0.178 | 0.423 | 0.178 | 22.85 | 54.30 | 22.85 |
| | 0.33L | 0.307 | 0.689 | 0.307 | 23.56 | 52.88 | 23.56 |
| | 0.50L | 0.333 | 0.620 | 0.333 | 25.89 | 48.21 | 25.89 |
| | 0.67L | 0.228 | 0.385 | 0.228 | 27.11 | 45.78 | 27.11 |
| | 0.80L | 0.111 | 0.189 | 0.111 | 27.01 | 45.99 | 27.01 |
| | 0.90L | 0.039 | 0.072 | 0.039 | 25.85 | 48.30 | 25.85 |
| | 0.933L | 0.022 | 0.044 | 0.022 | 24.92 | 50.17 | 24.92 |
| 2.00 | 0.067L | 0.036 | 0.078 | 0.036 | 23.98 | 52.05 | 23.98 |
| | 0.10L | 0.063 | 0.127 | 0.063 | 24.90 | 50.20 | 24.90 |
| | 0.20L | 0.172 | 0.320 | 0.172 | 25.90 | 48.19 | 25.90 |
| | 0.33L | 0.332 | 0.619 | 0.332 | 25.88 | 48.25 | 25.88 |
| | 0.50L | 0.431 | 0.855 | 0.431 | 25.10 | 49.80 | 25.10 |
| | 0.67L | 0.332 | 0.619 | 0.332 | 25.88 | 48.25 | 25.88 |
| | 0.80L | 0.172 | 0.320 | 0.172 | 25.90 | 48.19 | 25.90 |
| | 0.90L | 0.063 | 0.127 | 0.063 | 24.90 | 50.20 | 24.90 |
| | 0.933L | 0.036 | 0.078 | 0.036 | 23.98 | 52.05 | 23.98 |

| Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 30.00 m | | | | | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|-------|
| Steghöhe Last- [m] Ort stellung | Verformung | | | Querverteilung | | | |
| | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] | |
| 4.00 0.067L | 0.067L | 0.013 | 0.096 | 0.013 | 10.67 | 78.66 | 10.67 |
| | 0.10L | 0.015 | 0.106 | 0.015 | 11.03 | 77.94 | 11.03 |
| | 0.20L | 0.018 | 0.107 | 0.018 | 12.59 | 74.83 | 12.59 |
| | 0.33L | 0.019 | 0.089 | 0.019 | 14.83 | 70.33 | 14.83 |
| | 0.50L | 0.014 | 0.063 | 0.014 | 15.79 | 68.43 | 15.79 |
| | 0.67L | 0.008 | 0.038 | 0.008 | 14.49 | 71.03 | 14.49 |
| | 0.80L | 0.003 | 0.021 | 0.003 | 10.63 | 78.74 | 10.63 |
| | 0.90L | 0.000 | 0.010 | 0.000 | 3.82 | 92.36 | 3.82 |
| | 0.933L | 0.000 | 0.008 | 0.000 | 0.22 | 99.56 | 0.22 |
| | | | | | | | |
| 4.00 0.10L | 0.067L | 0.014 | 0.098 | 0.014 | 11.11 | 77.78 | 11.11 |
| | 0.10L | 0.017 | 0.114 | 0.017 | 11.49 | 77.03 | 11.49 |
| | 0.20L | 0.022 | 0.125 | 0.022 | 13.02 | 73.96 | 13.02 |
| | 0.33L | 0.024 | 0.108 | 0.024 | 15.38 | 69.23 | 15.38 |
| | 0.50L | 0.019 | 0.078 | 0.019 | 16.64 | 66.72 | 16.64 |
| | 0.67L | 0.011 | 0.047 | 0.011 | 15.76 | 68.48 | 15.76 |
| | 0.80L | 0.004 | 0.026 | 0.004 | 12.55 | 74.89 | 12.55 |
| | 0.90L | 0.001 | 0.013 | 0.001 | 6.88 | 86.25 | 6.88 |
| | 0.933L | 0.000 | 0.010 | 0.000 | 3.93 | 92.13 | 3.93 |
| | | | | | | | |
| 4.00 0.20L | 0.067L | 0.017 | 0.097 | 0.017 | 12.82 | 74.37 | 12.82 |
| | 0.10L | 0.022 | 0.122 | 0.022 | 13.25 | 73.49 | 13.25 |
| | 0.20L | 0.036 | 0.179 | 0.036 | 14.34 | 71.31 | 14.34 |
| | 0.33L | 0.045 | 0.184 | 0.045 | 16.42 | 67.15 | 16.42 |
| | 0.50L | 0.041 | 0.140 | 0.041 | 18.34 | 63.32 | 18.34 |
| | 0.67L | 0.025 | 0.088 | 0.025 | 18.28 | 63.44 | 18.28 |
| | 0.80L | 0.012 | 0.049 | 0.012 | 16.26 | 67.48 | 16.26 |
| | 0.90L | 0.004 | 0.025 | 0.004 | 12.55 | 74.90 | 12.55 |
| | 0.933L | 0.003 | 0.018 | 0.003 | 10.68 | 78.63 | 10.68 |
| | | | | | | | |
| 4.00 0.33L | 0.067L | 0.017 | 0.080 | 0.017 | 14.80 | 70.41 | 14.80 |
| | 0.10L | 0.023 | 0.104 | 0.023 | 15.33 | 69.33 | 15.33 |
| | 0.20L | 0.045 | 0.183 | 0.045 | 16.48 | 67.03 | 16.48 |
| | 0.33L | 0.069 | 0.263 | 0.069 | 17.21 | 65.59 | 17.21 |
| | 0.50L | 0.072 | 0.236 | 0.072 | 18.95 | 62.11 | 18.95 |
| | 0.67L | 0.049 | 0.154 | 0.049 | 19.44 | 61.11 | 19.44 |
| | 0.80L | 0.025 | 0.087 | 0.025 | 18.25 | 63.51 | 18.25 |
| | 0.90L | 0.010 | 0.046 | 0.010 | 15.71 | 68.58 | 15.71 |
| | 0.933L | 0.007 | 0.034 | 0.007 | 14.45 | 71.09 | 14.45 |
| | | | | | | | |
| 4.00 0.50L | 0.067L | 0.013 | 0.056 | 0.013 | 15.73 | 68.54 | 15.73 |
| | 0.10L | 0.019 | 0.075 | 0.019 | 16.81 | 66.37 | 16.81 |
| | 0.20L | 0.040 | 0.140 | 0.040 | 18.18 | 63.64 | 18.18 |
| | 0.33L | 0.072 | 0.235 | 0.072 | 19.00 | 62.01 | 19.00 |
| | 0.50L | 0.092 | 0.309 | 0.092 | 18.66 | 62.68 | 18.66 |
| | 0.67L | 0.072 | 0.235 | 0.072 | 19.00 | 62.01 | 19.00 |
| | 0.80L | 0.040 | 0.140 | 0.040 | 18.18 | 63.64 | 18.18 |
| | 0.90L | 0.019 | 0.075 | 0.019 | 16.58 | 66.85 | 16.58 |
| | 0.933L | 0.013 | 0.056 | 0.013 | 15.73 | 68.54 | 15.73 |
| | | | | | | | |

| Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 30.00 m | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] |
| 6.00 | 0.067L | 0.012 | 0.085 | 0.012 | 10.73 | 78.54 | 10.73 |
| | 0.10L | 0.013 | 0.094 | 0.013 | 10.94 | 78.13 | 10.94 |
| | 0.20L | 0.015 | 0.097 | 0.015 | 11.69 | 76.63 | 11.69 |
| | 0.33L | 0.014 | 0.082 | 0.014 | 12.48 | 75.03 | 12.48 |
| | 0.50L | 0.010 | 0.060 | 0.010 | 12.13 | 75.75 | 12.13 |
| | 0.67L | 0.004 | 0.039 | 0.004 | 9.44 | 81.12 | 9.44 |
| | 0.80L | 0.001 | 0.024 | 0.001 | 4.27 | 91.46 | 4.27 |
| | 0.90L | 0.000 | 0.014 | 0.000 | -2.57 | 105.13 | -2.57 |
| | 0.933L | -0.001 | 0.011 | -0.001 | -5.24 | 110.49 | -5.24 |
| 6.00 | 0.10L | 0.012 | 0.085 | 0.012 | 10.94 | 78.11 | 10.94 |
| | 0.20L | 0.014 | 0.097 | 0.014 | 11.12 | 77.76 | 11.12 |
| | 0.33L | 0.016 | 0.105 | 0.016 | 11.68 | 76.64 | 11.68 |
| | 0.50L | 0.016 | 0.091 | 0.016 | 12.75 | 74.51 | 12.75 |
| | 0.67L | 0.011 | 0.067 | 0.011 | 12.68 | 74.63 | 12.68 |
| | 0.80L | 0.006 | 0.044 | 0.006 | 10.42 | 79.15 | 10.42 |
| | 0.90L | 0.002 | 0.027 | 0.002 | 5.90 | 88.21 | 5.90 |
| | 0.933L | 0.000 | 0.016 | 0.000 | -0.03 | 100.06 | -0.03 |
| | | 0.000 | 0.013 | 0.000 | -2.32 | 104.64 | -2.32 |
| 6.00 | 0.20L | 0.013 | 0.082 | 0.013 | 11.79 | 76.43 | 11.79 |
| | 0.33L | 0.015 | 0.098 | 0.015 | 11.91 | 76.18 | 11.91 |
| | 0.50L | 0.021 | 0.127 | 0.021 | 12.43 | 75.15 | 12.43 |
| | 0.67L | 0.024 | 0.128 | 0.024 | 13.64 | 72.73 | 13.64 |
| | 0.80L | 0.020 | 0.099 | 0.020 | 14.16 | 71.69 | 14.16 |
| | 0.90L | 0.012 | 0.066 | 0.012 | 13.02 | 73.96 | 13.02 |
| | 0.933L | 0.005 | 0.041 | 0.005 | 10.07 | 79.86 | 10.07 |
| | | 0.002 | 0.025 | 0.002 | 6.24 | 87.52 | 6.24 |
| | | 0.001 | 0.020 | 0.001 | 4.80 | 90.39 | 4.80 |
| 6.00 | 0.33L | 0.012 | 0.069 | 0.012 | 12.65 | 74.69 | 12.65 |
| | 0.50L | 0.015 | 0.085 | 0.015 | 12.88 | 74.23 | 12.88 |
| | 0.67L | 0.024 | 0.128 | 0.024 | 13.64 | 72.73 | 13.64 |
| | 0.80L | 0.032 | 0.165 | 0.032 | 13.97 | 72.05 | 13.97 |
| | 0.90L | 0.032 | 0.149 | 0.032 | 15.02 | 69.95 | 15.02 |
| | 0.933L | 0.032 | 0.103 | 0.022 | 14.97 | 70.07 | 14.97 |
| | | 0.012 | 0.066 | 0.012 | 13.07 | 73.87 | 13.07 |
| | | 0.006 | 0.041 | 0.006 | 10.71 | 78.58 | 10.71 |
| | | 0.004 | 0.033 | 0.004 | 9.84 | 80.33 | 9.84 |
| 6.00 | 0.50L | 0.008 | 0.051 | 0.008 | 12.39 | 75.22 | 12.39 |
| | 0.67L | 0.011 | 0.063 | 0.011 | 12.88 | 74.23 | 12.88 |
| | 0.80L | 0.020 | 0.099 | 0.020 | 14.20 | 71.61 | 14.20 |
| | 0.90L | 0.032 | 0.149 | 0.032 | 15.02 | 69.95 | 15.02 |
| | 0.933L | 0.040 | 0.185 | 0.040 | 15.09 | 69.81 | 15.09 |
| | | 0.032 | 0.149 | 0.032 | 15.02 | 69.95 | 15.02 |
| | | 0.020 | 0.099 | 0.020 | 14.20 | 71.61 | 14.20 |
| | | 0.011 | 0.063 | 0.011 | 12.88 | 74.23 | 12.88 |
| | | 0.008 | 0.051 | 0.008 | 12.39 | 75.22 | 12.39 |

| Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 45.00 m | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] |
| 1.60 | 0.067L | 0.049 | 0.205 | 0.049 | 16.17 | 67.66 | 16.17 |
| | 0.10L | 0.077 | 0.262 | 0.077 | 18.51 | 62.98 | 18.51 |
| | 0.20L | 0.146 | 0.284 | 0.146 | 25.35 | 49.31 | 25.35 |
| | 0.33L | 0.185 | 0.252 | 0.185 | 29.74 | 40.51 | 29.74 |
| | 0.50L | 0.161 | 0.186 | 0.161 | 31.69 | 36.61 | 31.69 |
| | 0.67L | 0.097 | 0.106 | 0.097 | 32.33 | 35.33 | 32.33 |
| | 0.80L | 0.043 | 0.047 | 0.043 | 32.38 | 35.23 | 32.38 |
| | 0.90L | 0.013 | 0.014 | 0.013 | 32.07 | 35.86 | 32.07 |
| | 0.933L | 0.006 | 0.007 | 0.006 | 31.76 | 36.49 | 31.76 |
| 1.60 | 0.067L | 0.074 | 0.256 | 0.074 | 18.32 | 63.37 | 18.32 |
| | 0.10L | 0.125 | 0.372 | 0.125 | 20.10 | 59.81 | 20.10 |
| | 0.20L | 0.256 | 0.479 | 0.256 | 25.83 | 48.34 | 25.83 |
| | 0.33L | 0.335 | 0.447 | 0.335 | 29.99 | 40.02 | 29.99 |
| | 0.50L | 0.298 | 0.339 | 0.298 | 31.87 | 36.26 | 31.87 |
| | 0.67L | 0.181 | 0.196 | 0.181 | 32.44 | 35.13 | 32.44 |
| | 0.80L | 0.081 | 0.087 | 0.081 | 32.49 | 35.02 | 32.49 |
| | 0.90L | 0.025 | 0.027 | 0.025 | 32.21 | 35.59 | 32.21 |
| | 0.933L | 0.012 | 0.014 | 0.012 | 31.91 | 36.17 | 31.91 |
| 1.60 | 0.067L | 0.134 | 0.269 | 0.134 | 24.95 | 50.09 | 24.95 |
| | 0.10L | 0.247 | 0.470 | 0.247 | 25.62 | 48.76 | 25.62 |
| | 0.20L | 0.630 | 1.069 | 0.630 | 27.05 | 45.90 | 27.05 |
| | 0.33L | 0.928 | 1.219 | 0.928 | 30.18 | 39.64 | 30.18 |
| | 0.50L | 0.879 | 0.990 | 0.879 | 31.99 | 36.03 | 31.99 |
| | 0.67L | 0.553 | 0.593 | 0.553 | 32.55 | 34.90 | 32.55 |
| | 0.80L | 0.252 | 0.269 | 0.252 | 32.60 | 34.80 | 32.60 |
| | 0.90L | 0.077 | 0.084 | 0.077 | 32.36 | 35.27 | 32.36 |
| | 0.933L | 0.038 | 0.043 | 0.038 | 32.11 | 35.79 | 32.11 |
| 1.60 | 0.067L | 0.166 | 0.234 | 0.166 | 29.33 | 41.34 | 29.33 |
| | 0.10L | 0.319 | 0.432 | 0.319 | 29.81 | 40.37 | 29.81 |
| | 0.20L | 0.921 | 1.212 | 0.921 | 30.16 | 39.69 | 30.16 |
| | 0.33L | 1.640 | 2.163 | 1.640 | 30.13 | 39.74 | 30.13 |
| | 0.50L | 1.756 | 2.027 | 1.756 | 31.70 | 36.60 | 31.70 |
| | 0.67L | 1.171 | 1.270 | 1.171 | 32.42 | 35.16 | 32.42 |
| | 0.80L | 0.548 | 0.589 | 0.548 | 32.52 | 34.96 | 32.52 |
| | 0.90L | 0.172 | 0.188 | 0.172 | 32.33 | 35.34 | 32.33 |
| | 0.933L | 0.086 | 0.097 | 0.086 | 32.03 | 35.95 | 32.03 |
| 1.60 | 0.067L | 0.144 | 0.170 | 0.144 | 31.44 | 37.12 | 31.44 |
| | 0.10L | 0.282 | 0.326 | 0.282 | 31.69 | 36.63 | 31.69 |
| | 0.20L | 0.870 | 0.983 | 0.870 | 31.95 | 36.10 | 31.95 |
| | 0.33L | 1.753 | 2.025 | 1.753 | 31.69 | 36.61 | 31.69 |
| | 0.50L | 2.311 | 2.849 | 2.311 | 30.93 | 38.13 | 30.93 |
| | 0.67L | 1.753 | 2.025 | 1.753 | 31.69 | 36.61 | 31.69 |
| | 0.80L | 0.870 | 0.983 | 0.870 | 31.95 | 36.10 | 31.95 |
| | 0.90L | 0.282 | 0.326 | 0.282 | 31.69 | 36.63 | 31.69 |
| | 0.933L | 0.144 | 0.170 | 0.144 | 31.44 | 37.12 | 31.44 |

| Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 45.00 m | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] |
| 2.00 | 0.067L | 0.035 | 0.166 | 0.035 | 14.83 | 70.34 | 14.83 |
| | 0.10L | 0.052 | 0.205 | 0.052 | 16.83 | 66.34 | 16.83 |
| | 0.20L | 0.095 | 0.216 | 0.095 | 23.40 | 53.20 | 23.40 |
| | 0.33L | 0.120 | 0.187 | 0.120 | 28.10 | 43.79 | 28.10 |
| | 0.50L | 0.105 | 0.134 | 0.105 | 30.52 | 38.95 | 30.52 |
| | 0.67L | 0.063 | 0.075 | 0.063 | 31.30 | 37.41 | 31.30 |
| | 0.80L | 0.028 | 0.034 | 0.028 | 31.28 | 37.44 | 31.28 |
| | 0.90L | 0.008 | 0.011 | 0.008 | 30.65 | 38.71 | 30.65 |
| | 0.933L | 0.004 | 0.006 | 0.004 | 30.06 | 39.88 | 30.06 |
| 2.00 | 0.067L | 0.051 | 0.201 | 0.051 | 16.83 | 66.34 | 16.83 |
| | 0.10L | 0.082 | 0.282 | 0.082 | 18.39 | 63.23 | 18.39 |
| | 0.20L | 0.163 | 0.353 | 0.163 | 24.01 | 51.99 | 24.01 |
| | 0.33L | 0.213 | 0.320 | 0.213 | 28.55 | 42.90 | 28.55 |
| | 0.50L | 0.190 | 0.237 | 0.190 | 30.79 | 38.41 | 30.79 |
| | 0.67L | 0.116 | 0.136 | 0.116 | 31.52 | 36.96 | 31.52 |
| | 0.80L | 0.052 | 0.061 | 0.052 | 31.54 | 36.92 | 31.54 |
| | 0.90L | 0.016 | 0.020 | 0.016 | 30.99 | 38.02 | 30.99 |
| | 0.933L | 0.008 | 0.010 | 0.008 | 30.48 | 39.05 | 30.48 |
| 2.00 | 0.067L | 0.088 | 0.206 | 0.088 | 23.04 | 53.93 | 23.04 |
| | 0.10L | 0.158 | 0.346 | 0.158 | 23.87 | 52.27 | 23.87 |
| | 0.20L | 0.395 | 0.757 | 0.395 | 25.53 | 48.93 | 25.53 |
| | 0.33L | 0.581 | 0.842 | 0.581 | 28.99 | 42.02 | 28.99 |
| | 0.50L | 0.553 | 0.671 | 0.553 | 31.12 | 37.76 | 31.12 |
| | 0.67L | 0.349 | 0.399 | 0.349 | 31.81 | 36.37 | 31.81 |
| | 0.80L | 0.160 | 0.182 | 0.160 | 31.87 | 36.25 | 31.87 |
| | 0.90L | 0.050 | 0.059 | 0.050 | 31.42 | 37.16 | 31.42 |
| | 0.933L | 0.025 | 0.031 | 0.025 | 31.00 | 38.00 | 31.00 |
| 2.00 | 0.067L | 0.109 | 0.175 | 0.109 | 27.74 | 44.53 | 27.74 |
| | 0.10L | 0.204 | 0.311 | 0.204 | 28.37 | 43.25 | 28.37 |
| | 0.20L | 0.577 | 0.838 | 0.577 | 28.97 | 42.07 | 28.97 |
| | 0.33L | 1.023 | 1.473 | 1.023 | 29.07 | 41.86 | 29.07 |
| | 0.50L | 1.098 | 1.360 | 1.098 | 30.88 | 38.25 | 30.88 |
| | 0.67L | 0.735 | 0.847 | 0.735 | 31.72 | 36.56 | 31.72 |
| | 0.80L | 0.346 | 0.397 | 0.346 | 31.77 | 36.46 | 31.77 |
| | 0.90L | 0.111 | 0.131 | 0.111 | 31.44 | 37.11 | 31.44 |
| | 0.933L | 0.057 | 0.070 | 0.057 | 30.99 | 38.01 | 30.99 |
| 2.00 | 0.067L | 0.095 | 0.124 | 0.095 | 30.25 | 39.49 | 30.25 |
| | 0.10L | 0.181 | 0.229 | 0.181 | 30.63 | 38.75 | 30.63 |
| | 0.20L | 0.548 | 0.666 | 0.548 | 31.10 | 37.80 | 31.10 |
| | 0.33L | 1.096 | 1.359 | 1.096 | 30.86 | 38.27 | 30.86 |
| | 0.50L | 1.443 | 1.914 | 1.443 | 30.06 | 39.88 | 30.06 |
| | 0.67L | 1.096 | 1.359 | 1.096 | 30.86 | 38.27 | 30.86 |
| | 0.80L | 0.548 | 0.666 | 0.548 | 31.10 | 37.80 | 31.10 |
| | 0.90L | 0.181 | 0.229 | 0.181 | 30.63 | 38.75 | 30.63 |
| | 0.933L | 0.095 | 0.124 | 0.095 | 30.25 | 39.49 | 30.25 |

| Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 45.00 m | | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|-------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] | |
| 4.00 | 0.067L | 0.067L | 0.017 | 0.108 | 0.017 | 11.97 | 76.06 | 11.97 |
| | | 0.10L | 0.022 | 0.121 | 0.022 | 13.33 | 73.33 | 13.33 |
| | | 0.20L | 0.031 | 0.119 | 0.031 | 17.13 | 65.75 | 17.13 |
| | | 0.33L | 0.035 | 0.098 | 0.035 | 20.96 | 58.07 | 20.96 |
| | | 0.50L | 0.029 | 0.068 | 0.029 | 23.24 | 53.51 | 23.24 |
| | | 0.67L | 0.017 | 0.038 | 0.017 | 23.37 | 53.25 | 23.37 |
| | | 0.80L | 0.007 | 0.019 | 0.007 | 21.37 | 57.27 | 21.37 |
| | | 0.90L | 0.002 | 0.008 | 0.002 | 16.37 | 67.26 | 16.37 |
| | | 0.933L | 0.001 | 0.005 | 0.001 | 12.67 | 74.67 | 12.67 |
| 4.00 | 0.10L | 0.067L | 0.021 | 0.119 | 0.021 | 13.04 | 73.91 | 13.04 |
| | | 0.10L | 0.028 | 0.145 | 0.028 | 13.93 | 72.14 | 13.93 |
| | | 0.20L | 0.046 | 0.163 | 0.046 | 18.04 | 63.92 | 18.04 |
| | | 0.33L | 0.055 | 0.140 | 0.055 | 22.00 | 56.00 | 22.00 |
| | | 0.50L | 0.048 | 0.100 | 0.048 | 24.49 | 51.02 | 24.49 |
| | | 0.67L | 0.028 | 0.058 | 0.028 | 24.74 | 50.53 | 24.74 |
| | | 0.80L | 0.012 | 0.028 | 0.012 | 23.19 | 53.63 | 23.19 |
| | | 0.90L | 0.004 | 0.012 | 0.004 | 19.21 | 61.57 | 19.21 |
| | | 0.933L | 0.002 | 0.008 | 0.002 | 16.31 | 67.38 | 16.31 |
| 4.00 | 0.20L | 0.067L | 0.030 | 0.116 | 0.030 | 17.05 | 65.91 | 17.05 |
| | | 0.10L | 0.045 | 0.162 | 0.045 | 17.86 | 64.29 | 17.86 |
| | | 0.20L | 0.095 | 0.287 | 0.095 | 19.92 | 60.17 | 19.92 |
| | | 0.33L | 0.132 | 0.298 | 0.132 | 23.49 | 53.02 | 23.49 |
| | | 0.50L | 0.125 | 0.229 | 0.125 | 26.10 | 47.81 | 26.10 |
| | | 0.67L | 0.079 | 0.138 | 0.079 | 26.69 | 46.62 | 26.69 |
| | | 0.80L | 0.036 | 0.068 | 0.036 | 25.72 | 48.56 | 25.72 |
| | | 0.90L | 0.012 | 0.028 | 0.012 | 23.08 | 53.84 | 23.08 |
| | | 0.933L | 0.007 | 0.018 | 0.007 | 21.18 | 57.63 | 21.18 |
| 4.00 | 0.33L | 0.067L | 0.034 | 0.095 | 0.034 | 20.82 | 58.35 | 20.82 |
| | | 0.10L | 0.054 | 0.138 | 0.054 | 21.95 | 56.10 | 21.95 |
| | | 0.20L | 0.132 | 0.298 | 0.132 | 23.49 | 53.02 | 23.49 |
| | | 0.33L | 0.225 | 0.479 | 0.225 | 24.22 | 51.56 | 24.22 |
| | | 0.50L | 0.240 | 0.427 | 0.240 | 26.46 | 47.08 | 26.46 |
| | | 0.67L | 0.162 | 0.270 | 0.162 | 27.27 | 45.45 | 27.27 |
| | | 0.80L | 0.078 | 0.137 | 0.078 | 26.62 | 46.76 | 26.62 |
| | | 0.90L | 0.028 | 0.057 | 0.028 | 24.62 | 50.76 | 24.62 |
| | | 0.933L | 0.016 | 0.037 | 0.016 | 23.19 | 53.63 | 23.19 |
| 4.00 | 0.50L | 0.067L | 0.028 | 0.065 | 0.028 | 23.07 | 53.85 | 23.07 |
| | | 0.10L | 0.046 | 0.098 | 0.046 | 24.30 | 51.40 | 24.30 |
| | | 0.20L | 0.124 | 0.228 | 0.124 | 26.05 | 47.90 | 26.05 |
| | | 0.33L | 0.239 | 0.427 | 0.239 | 26.41 | 47.18 | 26.41 |
| | | 0.50L | 0.313 | 0.590 | 0.313 | 25.74 | 48.52 | 25.74 |
| | | 0.67L | 0.239 | 0.427 | 0.239 | 26.41 | 47.18 | 26.41 |
| | | 0.80L | 0.124 | 0.228 | 0.124 | 26.05 | 47.90 | 26.05 |
| | | 0.90L | 0.046 | 0.098 | 0.046 | 24.30 | 51.40 | 24.30 |
| | | 0.933L | 0.028 | 0.065 | 0.028 | 23.07 | 53.85 | 23.07 |

| Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 45.00 m | | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|-------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] | |
| 6.00 | 0.067L | 0.067L | 0.015 | 0.096 | 0.015 | 11.65 | 76.70 | 11.65 |
| | | 0.10L | 0.017 | 0.105 | 0.017 | 12.23 | 75.54 | 12.23 |
| | | 0.20L | 0.021 | 0.102 | 0.021 | 14.58 | 70.83 | 14.58 |
| | | 0.33L | 0.021 | 0.083 | 0.021 | 16.84 | 66.31 | 16.84 |
| | | 0.50L | 0.016 | 0.059 | 0.016 | 17.83 | 64.35 | 17.83 |
| | | 0.67L | 0.008 | 0.035 | 0.008 | 16.28 | 67.43 | 16.28 |
| | | 0.80L | 0.003 | 0.019 | 0.003 | 11.55 | 76.90 | 11.55 |
| | | 0.90L | 0.000 | 0.010 | 0.000 | 2.17 | 95.66 | 2.17 |
| | | 0.933L | 0.000 | 0.007 | 0.000 | -3.28 | 106.56 | -3.28 |
| 6.00 | 0.10L | 0.067L | 0.016 | 0.099 | 0.016 | 12.28 | 75.45 | 12.28 |
| | | 0.10L | 0.020 | 0.114 | 0.020 | 12.99 | 74.03 | 12.99 |
| | | 0.20L | 0.027 | 0.123 | 0.027 | 15.25 | 69.49 | 15.25 |
| | | 0.33L | 0.029 | 0.104 | 0.029 | 17.90 | 64.20 | 17.90 |
| | | 0.50L | 0.023 | 0.075 | 0.023 | 19.16 | 61.69 | 19.16 |
| | | 0.67L | 0.013 | 0.045 | 0.013 | 18.14 | 63.72 | 18.14 |
| | | 0.80L | 0.005 | 0.025 | 0.005 | 14.34 | 71.33 | 14.34 |
| | | 0.90L | 0.001 | 0.012 | 0.001 | 6.85 | 86.31 | 6.85 |
| | | 0.933L | 0.000 | 0.009 | 0.000 | 2.60 | 94.80 | 2.60 |
| 6.00 | 0.20L | 0.067L | 0.020 | 0.096 | 0.020 | 14.59 | 70.82 | 14.59 |
| | | 0.10L | 0.026 | 0.122 | 0.026 | 14.94 | 70.11 | 14.94 |
| | | 0.20L | 0.046 | 0.182 | 0.046 | 16.79 | 66.42 | 16.79 |
| | | 0.33L | 0.059 | 0.184 | 0.059 | 19.54 | 60.93 | 19.54 |
| | | 0.50L | 0.053 | 0.140 | 0.053 | 21.54 | 56.91 | 21.54 |
| | | 0.67L | 0.033 | 0.087 | 0.033 | 21.42 | 57.16 | 21.42 |
| | | 0.80L | 0.015 | 0.048 | 0.015 | 19.10 | 61.79 | 19.10 |
| | | 0.90L | 0.005 | 0.024 | 0.005 | 14.46 | 71.08 | 14.46 |
| | | 0.933L | 0.003 | 0.018 | 0.003 | 11.94 | 76.12 | 11.94 |
| 6.00 | 0.33L | 0.067L | 0.020 | 0.079 | 0.020 | 17.00 | 66.01 | 17.00 |
| | | 0.10L | 0.029 | 0.103 | 0.029 | 18.01 | 63.98 | 18.01 |
| | | 0.20L | 0.059 | 0.184 | 0.059 | 19.54 | 60.93 | 19.54 |
| | | 0.33L | 0.094 | 0.269 | 0.094 | 20.57 | 58.86 | 20.57 |
| | | 0.50L | 0.098 | 0.239 | 0.098 | 22.53 | 54.94 | 22.53 |
| | | 0.67L | 0.066 | 0.156 | 0.066 | 22.92 | 54.17 | 22.92 |
| | | 0.80L | 0.033 | 0.087 | 0.033 | 21.43 | 57.14 | 21.43 |
| | | 0.90L | 0.013 | 0.045 | 0.013 | 18.24 | 63.52 | 18.24 |
| | | 0.933L | 0.008 | 0.033 | 0.008 | 16.55 | 66.90 | 16.55 |
| 6.00 | 0.50L | 0.067L | 0.016 | 0.055 | 0.016 | 18.02 | 63.95 | 18.02 |
| | | 0.10L | 0.023 | 0.074 | 0.023 | 19.24 | 61.52 | 19.24 |
| | | 0.20L | 0.053 | 0.140 | 0.053 | 21.54 | 56.91 | 21.54 |
| | | 0.33L | 0.098 | 0.239 | 0.098 | 22.53 | 54.94 | 22.53 |
| | | 0.50L | 0.126 | 0.318 | 0.126 | 22.11 | 55.79 | 22.11 |
| | | 0.67L | 0.098 | 0.239 | 0.098 | 22.53 | 54.94 | 22.53 |
| | | 0.80L | 0.053 | 0.140 | 0.053 | 21.54 | 56.91 | 21.54 |
| | | 0.90L | 0.023 | 0.074 | 0.023 | 19.24 | 61.52 | 19.24 |
| | | 0.933L | 0.016 | 0.055 | 0.016 | 18.02 | 63.95 | 18.02 |

| Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 60.00 m | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] |
| 1.60 | 0.067L | 0.092 | 0.292 | 0.092 | 19.33 | 61.34 | 19.33 |
| | 0.100L | 0.151 | 0.377 | 0.151 | 22.24 | 55.52 | 22.24 |
| | 0.200L | 0.293 | 0.429 | 0.293 | 28.87 | 42.27 | 28.87 |
| | 0.333L | 0.364 | 0.413 | 0.364 | 31.90 | 36.20 | 31.90 |
| | 0.500L | 0.314 | 0.326 | 0.314 | 32.91 | 34.17 | 32.91 |
| | 0.661L | 0.193 | 0.196 | 0.193 | 33.16 | 33.68 | 33.16 |
| | 0.796L | 0.085 | 0.087 | 0.085 | 33.14 | 33.72 | 33.14 |
| | 0.898L | 0.025 | 0.026 | 0.025 | 33.00 | 34.01 | 33.00 |
| | 0.932L | 0.012 | 0.013 | 0.012 | 32.85 | 34.30 | 32.85 |
| 1.60 | 0.067L | 0.171 | 0.425 | 0.171 | 22.29 | 55.41 | 22.29 |
| | 0.100L | 0.254 | 0.565 | 0.254 | 23.67 | 52.66 | 23.67 |
| | 0.200L | 0.534 | 0.765 | 0.534 | 29.13 | 41.73 | 29.13 |
| | 0.333L | 0.687 | 0.772 | 0.687 | 32.01 | 35.97 | 32.01 |
| | 0.500L | 0.604 | 0.625 | 0.604 | 32.95 | 34.10 | 32.95 |
| | 0.661L | 0.375 | 0.380 | 0.375 | 33.19 | 33.63 | 33.19 |
| | 0.796L | 0.166 | 0.169 | 0.166 | 33.13 | 33.73 | 33.13 |
| | 0.898L | 0.049 | 0.051 | 0.049 | 33.02 | 33.96 | 33.02 |
| | 0.932L | 0.024 | 0.025 | 0.024 | 32.88 | 34.24 | 32.88 |
| 1.60 | 0.067L | 0.327 | 0.485 | 0.327 | 28.71 | 42.58 | 28.71 |
| | 0.100L | 0.519 | 0.752 | 0.519 | 28.99 | 42.01 | 28.99 |
| | 0.200L | 1.371 | 1.864 | 1.371 | 29.77 | 40.47 | 29.77 |
| | 0.333L | 2.008 | 2.255 | 2.008 | 32.02 | 35.96 | 32.02 |
| | 0.500L | 1.878 | 1.940 | 1.878 | 32.97 | 34.06 | 32.97 |
| | 0.661L | 1.199 | 1.216 | 1.199 | 33.18 | 33.65 | 33.18 |
| | 0.796L | 0.541 | 0.549 | 0.541 | 33.17 | 33.66 | 33.17 |
| | 0.898L | 0.162 | 0.166 | 0.162 | 33.06 | 33.88 | 33.06 |
| | 0.932L | 0.078 | 0.081 | 0.078 | 32.91 | 34.17 | 32.91 |
| 1.60 | 0.067L | 0.404 | 0.466 | 0.404 | 31.71 | 36.58 | 31.71 |
| | 0.100L | 0.661 | 0.752 | 0.661 | 31.87 | 36.26 | 31.87 |
| | 0.200L | 1.995 | 2.248 | 1.995 | 31.98 | 36.04 | 31.98 |
| | 0.333L | 3.607 | 4.140 | 3.607 | 31.77 | 36.46 | 31.77 |
| | 0.500L | 3.843 | 4.038 | 3.843 | 32.78 | 34.44 | 32.78 |
| | 0.661L | 2.591 | 2.644 | 2.591 | 33.11 | 33.78 | 33.11 |
| | 0.796L | 1.201 | 1.222 | 1.201 | 33.14 | 33.72 | 33.14 |
| | 0.898L | 0.365 | 0.375 | 0.365 | 33.03 | 33.94 | 33.03 |
| | 0.932L | 0.178 | 0.185 | 0.178 | 32.90 | 34.20 | 32.90 |
| 1.60 | 0.067L | 0.346 | 0.367 | 0.346 | 32.67 | 34.66 | 32.67 |
| | 0.100L | 0.576 | 0.605 | 0.576 | 32.78 | 34.43 | 32.78 |
| | 0.200L | 1.861 | 1.931 | 1.861 | 32.92 | 34.16 | 32.92 |
| | 0.333L | 3.837 | 4.036 | 3.837 | 32.77 | 34.47 | 32.77 |
| | 0.500L | 5.124 | 5.655 | 5.124 | 32.22 | 35.56 | 32.22 |
| | 0.661L | 3.930 | 4.139 | 3.930 | 32.75 | 34.49 | 32.75 |
| | 0.796L | 1.931 | 2.002 | 1.931 | 32.93 | 34.14 | 32.93 |
| | 0.898L | 0.606 | 0.635 | 0.606 | 32.81 | 34.38 | 32.81 |
| | 0.932L | 0.299 | 0.317 | 0.299 | 32.68 | 34.64 | 32.68 |

| Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 60.00 m | | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|-------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] | |
| 2.00 | 0.067L | 0.067L | 0.062 | 0.226 | 0.062 | 17.71 | 64.57 | 17.71 |
| | | 0.10L | 0.100 | 0.284 | 0.100 | 20.66 | 58.68 | 20.66 |
| | | 0.20L | 0.190 | 0.312 | 0.190 | 27.46 | 45.09 | 27.46 |
| | | 0.33L | 0.237 | 0.289 | 0.237 | 31.06 | 37.88 | 31.06 |
| | | 0.50L | 0.204 | 0.222 | 0.204 | 32.38 | 35.24 | 32.38 |
| | | 0.661L | 0.126 | 0.132 | 0.126 | 32.81 | 34.38 | 32.81 |
| | | 0.796L | 0.056 | 0.058 | 0.056 | 32.86 | 34.29 | 32.86 |
| | | 0.898L | 0.017 | 0.018 | 0.017 | 32.67 | 34.67 | 32.67 |
| | | 0.932L | 0.008 | 0.009 | 0.008 | 32.46 | 35.07 | 32.46 |
| | | 2.00 | 0.10L | 0.067L | 0.113 | 0.319 | 0.113 | 20.73 |
| 0.10L | 0.165 | | | 0.417 | 0.165 | 22.09 | 55.82 | 22.09 |
| 0.20L | 0.342 | | | 0.544 | 0.342 | 27.85 | 44.30 | 27.85 |
| 0.33L | 0.442 | | | 0.531 | 0.442 | 31.24 | 37.53 | 31.24 |
| 0.50L | 0.390 | | | 0.419 | 0.390 | 32.53 | 34.95 | 32.53 |
| 0.661L | 0.242 | | | 0.252 | 0.242 | 32.88 | 34.24 | 32.88 |
| 0.796L | 0.108 | | | 0.112 | 0.108 | 32.93 | 34.15 | 32.93 |
| 0.898L | 0.032 | | | 0.034 | 0.032 | 32.74 | 34.51 | 32.74 |
| 0.932L | 0.016 | | | 0.017 | 0.016 | 32.56 | 34.89 | 32.56 |
| 2.00 | 0.20L | | | 0.067L | 0.212 | 0.353 | 0.212 | 27.28 |
| | | 0.10L | 0.334 | 0.536 | 0.334 | 27.74 | 44.52 | 27.74 |
| | | 0.20L | 0.871 | 1.287 | 0.871 | 28.76 | 42.49 | 28.76 |
| | | 0.33L | 1.278 | 1.515 | 1.278 | 31.39 | 37.21 | 31.39 |
| | | 0.50L | 1.199 | 1.278 | 1.199 | 32.62 | 34.77 | 32.62 |
| | | 0.661L | 0.768 | 0.795 | 0.768 | 32.95 | 34.11 | 32.95 |
| | | 0.796L | 0.348 | 0.359 | 0.348 | 32.99 | 34.03 | 32.99 |
| | | 0.898L | 0.105 | 0.110 | 0.105 | 32.81 | 34.38 | 32.81 |
| | | 0.932L | 0.052 | 0.055 | 0.052 | 32.67 | 34.67 | 32.67 |
| | | 2.00 | 0.33L | 0.067L | 0.264 | 0.327 | 0.264 | 30.88 |
| 0.10L | 0.427 | | | 0.518 | 0.427 | 31.12 | 37.76 | 31.12 |
| 0.20L | 1.271 | | | 1.511 | 1.271 | 31.36 | 37.28 | 31.36 |
| 0.33L | 2.288 | | | 2.757 | 2.288 | 31.20 | 37.60 | 31.20 |
| 0.50L | 2.442 | | | 2.649 | 2.442 | 32.42 | 35.17 | 32.42 |
| 0.661L | 1.652 | | | 1.723 | 1.652 | 32.86 | 34.27 | 32.86 |
| 0.796L | 0.770 | | | 0.798 | 0.770 | 32.93 | 34.13 | 32.93 |
| 0.898L | 0.237 | | | 0.249 | 0.237 | 32.78 | 34.44 | 32.78 |
| 0.932L | 0.117 | | | 0.125 | 0.117 | 32.59 | 34.82 | 32.59 |
| 2.00 | 0.50L | | | 0.067L | 0.227 | 0.250 | 0.227 | 32.24 |
| | | 0.10L | 0.374 | 0.407 | 0.374 | 32.38 | 35.24 | 32.38 |
| | | 0.20L | 1.190 | 1.272 | 1.190 | 32.58 | 34.83 | 32.58 |
| | | 0.33L | 2.439 | 2.648 | 2.439 | 32.41 | 35.18 | 32.41 |
| | | 0.50L | 3.248 | 3.722 | 3.248 | 31.79 | 36.43 | 31.79 |
| | | 0.661L | 2.496 | 2.713 | 2.496 | 32.39 | 35.21 | 32.39 |
| | | 0.796L | 1.233 | 1.317 | 1.233 | 32.59 | 34.81 | 32.59 |
| | | 0.898L | 0.392 | 0.425 | 0.392 | 32.42 | 35.15 | 32.42 |
| | | 0.932L | 0.196 | 0.216 | 0.196 | 32.24 | 35.53 | 32.24 |

| Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 60.00 m | | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|-------|
| Steghöhe Last- [m] stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | | |
| | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] | |
| 4.00 | 0.067L | 0.067L | 0.023 | 0.122 | 0.023 | 13.69 | 72.62 | 13.69 |
| | | 0.100L | 0.032 | 0.141 | 0.032 | 15.61 | 68.78 | 15.61 |
| | | 0.200L | 0.052 | 0.140 | 0.052 | 21.31 | 57.38 | 21.31 |
| | | 0.333L | 0.063 | 0.118 | 0.063 | 25.82 | 48.36 | 25.82 |
| | | 0.500L | 0.054 | 0.083 | 0.054 | 28.21 | 43.59 | 28.21 |
| | | 0.661L | 0.033 | 0.048 | 0.033 | 28.85 | 42.31 | 28.85 |
| | | 0.796L | 0.014 | 0.022 | 0.014 | 28.22 | 43.55 | 28.22 |
| | | 0.898L | 0.004 | 0.008 | 0.004 | 25.99 | 48.02 | 25.99 |
| | | 0.932L | 0.002 | 0.004 | 0.002 | 24.61 | 51.53 | 23.86 |
| 4.00 | 0.10L | 0.067L | 0.035 | 0.152 | 0.035 | 15.77 | 68.47 | 15.77 |
| | | 0.100L | 0.047 | 0.183 | 0.047 | 16.97 | 66.06 | 16.97 |
| | | 0.200L | 0.087 | 0.213 | 0.087 | 22.48 | 55.04 | 22.48 |
| | | 0.333L | 0.109 | 0.190 | 0.109 | 26.72 | 46.57 | 26.72 |
| | | 0.500L | 0.096 | 0.139 | 0.096 | 29.00 | 41.99 | 29.00 |
| | | 0.661L | 0.059 | 0.082 | 0.059 | 29.60 | 40.79 | 29.60 |
| | | 0.796L | 0.026 | 0.038 | 0.026 | 29.14 | 41.72 | 29.14 |
| | | 0.898L | 0.008 | 0.013 | 0.008 | 27.37 | 45.25 | 27.37 |
| | | 0.932L | 0.004 | 0.008 | 0.004 | 25.83 | 48.33 | 25.83 |
| 4.00 | 0.20L | 0.067L | 0.059 | 0.155 | 0.059 | 21.61 | 56.78 | 21.61 |
| | | 0.100L | 0.086 | 0.212 | 0.086 | 22.40 | 55.21 | 22.40 |
| | | 0.200L | 0.204 | 0.432 | 0.204 | 24.29 | 51.43 | 24.29 |
| | | 0.333L | 0.294 | 0.468 | 0.294 | 27.84 | 44.32 | 27.84 |
| | | 0.500L | 0.277 | 0.371 | 0.277 | 29.95 | 40.11 | 29.95 |
| | | 0.661L | 0.179 | 0.228 | 0.179 | 30.55 | 38.91 | 30.55 |
| | | 0.796L | 0.082 | 0.107 | 0.082 | 30.26 | 39.48 | 30.26 |
| | | 0.898L | 0.026 | 0.038 | 0.026 | 29.06 | 41.88 | 29.06 |
| | | 0.932L | 0.014 | 0.021 | 0.014 | 28.01 | 43.98 | 28.01 |
| 4.00 | 0.33L | 0.067L | 0.071 | 0.132 | 0.071 | 25.91 | 48.18 | 25.91 |
| | | 0.100L | 0.107 | 0.188 | 0.107 | 26.62 | 46.77 | 26.62 |
| | | 0.200L | 0.293 | 0.467 | 0.293 | 27.83 | 44.35 | 27.83 |
| | | 0.333L | 0.517 | 0.804 | 0.517 | 28.13 | 43.74 | 28.13 |
| | | 0.500L | 0.552 | 0.736 | 0.552 | 30.00 | 40.00 | 30.00 |
| | | 0.661L | 0.377 | 0.474 | 0.377 | 30.70 | 38.60 | 30.70 |
| | | 0.796L | 0.179 | 0.228 | 0.179 | 30.55 | 38.91 | 30.55 |
| | | 0.898L | 0.059 | 0.081 | 0.059 | 29.54 | 40.91 | 29.54 |
| | | 0.932L | 0.031 | 0.047 | 0.031 | 28.67 | 42.66 | 28.67 |
| 4.00 | 0.50L | 0.067L | 0.061 | 0.093 | 0.061 | 28.26 | 43.47 | 28.26 |
| | | 0.100L | 0.094 | 0.137 | 0.094 | 28.92 | 42.15 | 28.92 |
| | | 0.200L | 0.276 | 0.370 | 0.276 | 29.93 | 40.13 | 29.93 |
| | | 0.333L | 0.551 | 0.736 | 0.551 | 29.98 | 40.04 | 29.98 |
| | | 0.500L | 0.728 | 1.034 | 0.728 | 29.24 | 41.53 | 29.24 |
| | | 0.661L | 0.563 | 0.753 | 0.563 | 29.96 | 40.07 | 29.96 |
| | | 0.796L | 0.285 | 0.381 | 0.285 | 29.97 | 40.06 | 29.97 |
| | | 0.898L | 0.098 | 0.142 | 0.098 | 28.99 | 42.01 | 28.99 |
| | | 0.932L | 0.053 | 0.084 | 0.053 | 28.04 | 43.92 | 28.04 |

| Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 60.00 m | | | | | | | | |
|--|-------------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|
| Steghöhe [m] | Last- stellung | Ort | Verformung | | | Querverteilung | | |
| | | | Steg 1 [E-3 m] | Steg 2 [E-3 m] | Steg 3 [E-3 m] | Steg 1 [%] | Steg 2 [%] | Steg 3 [%] |
| 6.00 | 0.067L | 0.067L | 0.017 | 0.101 | 0.017 | 12.59 | 74.81 | 12.59 |
| | | 0.100L | 0.021 | 0.112 | 0.021 | 13.64 | 72.73 | 13.64 |
| | | 0.200L | 0.029 | 0.107 | 0.029 | 17.58 | 64.85 | 17.58 |
| | | 0.333L | 0.033 | 0.088 | 0.033 | 21.30 | 57.41 | 21.30 |
| | | 0.500L | 0.027 | 0.061 | 0.027 | 23.27 | 53.46 | 23.27 |
| | | 0.661L | 0.015 | 0.036 | 0.015 | 23.11 | 53.78 | 23.11 |
| | | 0.796L | 0.006 | 0.018 | 0.006 | 20.53 | 58.93 | 20.53 |
| | | 0.898L | 0.001 | 0.008 | 0.001 | 13.96 | 72.07 | 13.96 |
| | | 0.932L | 0.001 | 0.005 | 0.001 | 9.00 | 82.00 | 9.00 |
| 6.00 | 0.10L | 0.067L | 0.022 | 0.116 | 0.022 | 13.75 | 72.50 | 13.75 |
| | | 0.100L | 0.028 | 0.131 | 0.028 | 14.97 | 70.05 | 14.97 |
| | | 0.200L | 0.043 | 0.144 | 0.043 | 18.70 | 62.61 | 18.70 |
| | | 0.333L | 0.051 | 0.124 | 0.051 | 22.57 | 54.87 | 22.57 |
| | | 0.500L | 0.043 | 0.089 | 0.043 | 24.69 | 50.61 | 24.69 |
| | | 0.661L | 0.026 | 0.053 | 0.026 | 24.78 | 50.44 | 24.78 |
| | | 0.796L | 0.011 | 0.026 | 0.011 | 22.84 | 54.33 | 22.84 |
| | | 0.898L | 0.003 | 0.011 | 0.003 | 17.79 | 64.43 | 17.79 |
| | | 0.932L | 0.001 | 0.008 | 0.001 | 14.05 | 71.90 | 14.05 |
| 6.00 | 0.20L | 0.067L | 0.032 | 0.115 | 0.032 | 17.88 | 64.25 | 17.88 |
| | | 0.100L | 0.043 | 0.145 | 0.043 | 18.61 | 62.77 | 18.61 |
| | | 0.200L | 0.090 | 0.250 | 0.090 | 20.93 | 58.14 | 20.93 |
| | | 0.333L | 0.124 | 0.259 | 0.124 | 24.46 | 51.08 | 24.46 |
| | | 0.500L | 0.115 | 0.200 | 0.115 | 26.74 | 46.51 | 26.74 |
| | | 0.661L | 0.074 | 0.124 | 0.074 | 27.21 | 45.59 | 27.21 |
| | | 0.796L | 0.034 | 0.063 | 0.034 | 25.94 | 48.11 | 25.94 |
| | | 0.898L | 0.011 | 0.027 | 0.011 | 22.78 | 54.44 | 22.78 |
| | | 0.932L | 0.006 | 0.018 | 0.006 | 20.50 | 58.99 | 20.50 |
| 6.00 | 0.33L | 0.067L | 0.036 | 0.095 | 0.036 | 21.65 | 56.70 | 21.65 |
| | | 0.100L | 0.051 | 0.123 | 0.051 | 22.67 | 54.67 | 22.67 |
| | | 0.200L | 0.124 | 0.259 | 0.124 | 24.46 | 51.08 | 24.46 |
| | | 0.333L | 0.211 | 0.415 | 0.211 | 25.21 | 49.58 | 25.21 |
| | | 0.500L | 0.223 | 0.372 | 0.223 | 27.26 | 45.48 | 27.26 |
| | | 0.661L | 0.153 | 0.242 | 0.153 | 27.92 | 44.16 | 27.92 |
| | | 0.796L | 0.074 | 0.125 | 0.074 | 27.11 | 45.79 | 27.11 |
| | | 0.898L | 0.026 | 0.053 | 0.026 | 24.76 | 50.48 | 24.76 |
| | | 0.932L | 0.015 | 0.035 | 0.015 | 23.11 | 53.79 | 23.11 |
| 6.00 | 0.50L | 0.067L | 0.030 | 0.066 | 0.030 | 23.66 | 52.69 | 23.66 |
| | | 0.100L | 0.043 | 0.088 | 0.043 | 24.66 | 50.68 | 24.66 |
| | | 0.200L | 0.115 | 0.200 | 0.115 | 26.74 | 46.51 | 26.74 |
| | | 0.333L | 0.223 | 0.372 | 0.223 | 27.26 | 45.48 | 27.26 |
| | | 0.500L | 0.292 | 0.513 | 0.292 | 26.62 | 46.76 | 26.62 |
| | | 0.661L | 0.227 | 0.380 | 0.227 | 27.22 | 45.56 | 27.22 |
| | | 0.796L | 0.118 | 0.205 | 0.118 | 26.76 | 46.49 | 26.76 |
| | | 0.898L | 0.045 | 0.091 | 0.045 | 24.71 | 50.57 | 24.71 |
| | | 0.932L | 0.027 | 0.062 | 0.027 | 23.32 | 53.37 | 23.32 |